

Veterinär-Anatomisches Institut  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. med. vet. Alois Boos

**Morphologische Untersuchung des Musculus interosseus medius und seiner  
Umgebung beim einjährigen Rind**

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

**Leonie Rickenbacher**

Tierärztin

von Zeglingen BL

genehmigt auf Antrag von

Prof. em. Dr. med. vet. Hans Geyer, Referent  
Prof. Dr. med. vet. Karl Nuss, Korreferent

**2018**





*Meinen Eltern gewidmet*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>2 Summary</b>	<b>6</b>
<b>3 Einleitung</b>	<b>7</b>
3.1 Ausgangslage	7
3.2 Zielsetzung	7
<b>4 Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Anatomie des Rinderfusses</b>	<b>9</b>
4.1.1 Knöcherne Strukturen	9
4.1.2 Gelenke und Bänder	11
4.1.3 Muskeln und Sehnen	14
4.1.4 Innervation	19
4.1.5 Blutgefäßversorgung	22
4.1.6 Aufbau und Funktion des Fesseltrageapparates	24
<b>4.2 Verletzungen des M. interosseus medius beim Rind</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Verletzungen des M. interosseus medius beim Pferd</b>	<b>27</b>
<b>5 Material und Methoden</b>	<b>33</b>
5.1 Verwendete Tiere	33
5.2 Fixation der Gliedmassen	33
5.3 Probenentnahme	33
<b>5.4 Herstellen der Methylmethacrylat (MMA)-Schnitte</b>	<b>37</b>
5.4.1 Entwässern und Einbetten der Proben	37
5.4.2 Sägen, Kleben	38
5.4.3 Fräsen und Polieren	38
5.4.4 Färben	40
5.5 Auswertung	40
5.6 Herstellung der Ultraschallbilder	41
<b>6 Ergebnisse</b>	<b>42</b>
<b>6.1 Histologische Befunde an der Vordergliedmasse</b>	<b>42</b>
6.1.1 proximal im Ursprungsbereich (Position 1 und 2, Abb. 1)	42
6.1.2 Proximaler Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte (Position 3, Abb. 1)	44
6.1.3 Mitte Metakarpus (Position 4 und 5, Abb. 1)	47
6.1.4 Mittlerer Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte (Position 6, Abb. 1)	49

6.1.5 Verbindungsplatte (Position 7 und 8, Abb. 1) .....	53
6.1.6 Medialer Seitenschenkel der Mittelplatte (Position 9, Abb. 1) .....	53
6.1.7 Medialer Seitenstrang (Position 10, Abb. 1) .....	54
6.1.8 Unterstützungsast des medialen Seitenstranges (Position 11, Abb. 1) .....	54
6.1.9 Interdigitalschenkel der Mittelplatte (Position 12, Abb. 1).....	54
6.1.10 Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte proximal der Gleichbeine (Position 13a, Abb. 1) .....	54
6.1.11 Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b, Abb. 1).....	57
<b>6.2 Histologische Befunde an der Hintergliedmasse .....</b>	<b>60</b>
6.2.1 Proximal im Ursprungsbereich (Position 1 und 2, Abb. 2).....	60
6.2.2 Proximaler Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte (Position 3, Abb. 2).....	63
6.2.3 Mitte Metatarsus (Position 4 und 5, Abb. 1) .....	67
6.2.4 Mittlerer Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte (Position 6, Abb. 1) .....	67
6.2.5 Verbindungsplatte (Position 7 und 8, Abb. 1) .....	72
6.2.6 Medialer Seitenschenkel der Mittelplatte (Position 9, Abb. 1) .....	72
6.2.7 Medialer Seitenstrang (Position 10, Abb. 1) .....	72
6.2.8 Unterstützungsast des medialen Seitenstranges (Position 11, Abb. 1) .....	73
6.2.9 Interdigitalschenkel der Mittelplatte (Position 12, Abb. 1).....	73
6.2.10 Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte proximal der Gleichbeine (Position 13a, Abb. 1) .....	73
6.2.11 Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b, Abb. 1).....	73
<b>6.3 Braunviehrind mit Ruptur des M. interosseus medius.....</b>	<b>77</b>
<b>6.4 Braunviehkuh (Vorversuch) .....</b>	<b>80</b>
<b>7 Diskussion .....</b>	<b>81</b>
7.1 Material und Methoden .....	81
7.2 Ergebnisse .....	83
7.2.1 Verlauf und Gewebezusammensetzung des M. interosseus medius .....	83
7.2.2 Vergleiche mit den Ultraschallbildern.....	86
7.3 Verletzungen des M. interosseus medius .....	89
7.4 Ausblick.....	90
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>Danksagung.....</b>	
<b>Curriculum Vitae .....</b>	

# 1 Zusammenfassung

Die Morphologie des Fesselträgers, Musculus interosseus medius, und seiner Umgebung sollte bei Rindern als Grundlage zur Diagnostik erfasst und dokumentiert werden.

Von 6 weiblichen Rindern im Alter von 12-14 Monaten wurden die Fesselträger der Vorder- und Hintergliedmassen durch Perfusion in situ fixiert. An definierten Stellen wurden Proben des Fesselträgers, und teilweise mit seiner ganzen Umgebung, in Kunststoff (Methylmethacrylat) eingebettet und daraus Hartschnitte angefertigt. Der Bau des Fesselträgers wurde histologisch untersucht, unter besonderer Berücksichtigung seiner Muskulatur und der angrenzenden Strukturen. An Querschnitten auf mittlerer Höhe des Röhrbeins wurden der Gehalt an Muskulatur semiquantitativ und die Gewebeanteile in der Muskulatur quantitativ bestimmt.

Im Fesselträger der Jungrinder konnte unmittelbar distal des Ursprungs, von proximal bis in die Mitte des Röhrbeins, in allen Präparaten Muskulatur nachgewiesen werden. Die Anordnung der Muskulatur zeigte meist ein U- oder mäanderförmiges Muster. Die Muskulatur erscheint sonographisch im Querschnitt weniger echodicht als das umgebende Sehnengewebe. Die Verbindungsplatte des Fesselträgers und alle seine Strukturen distal der Mitte des Röhrbeins enthielten keine Muskulatur.

Die Beschreibung der Anatomie des Fesselträgers und die Bilddokumentation bilden verlässliche Grundlagen zur Diagnostik seiner Erkrankungen, die bisher vor allem als Zerreissungen beim Jungrind im Alter von ca. 1 Jahr auftraten.

## 2 Summary

The morphology of the suspensory ligament, interosseous muscle, and its surrounding structures should be recorded and documented in cattle as a basis for diagnosis.

Of 6 female cattle aged 12-14 months, the suspensory ligament of the fore- and hind limbs were fixed in situ by perfusion. At defined locations samples of the suspensory ligament, and partly with its entire environment, were embedded in plastic and made into hard cuts. The architecture of the suspensory ligament was examined histologically, with particular attention to its musculature and adjacent structures. At cross-sections at mid-height of the metacarpus / metatarsus the content of musculature was determined semiquantitatively and the tissue parts in the musculature were quantified.

In the suspensory ligament of the young cattle, musculature could be detected in all specimen immediately distal to the origin, from the proximal to the middle of the metacarpus / metatarsus. The arrangement of the musculature usually showed a U-shaped or meandering pattern. The musculature appears sonographically less echoic than the surrounding tendon tissue. The accessory ligament of the suspensory ligament and all its structures distal to the middle of the metacarpus / metatarsus contained no musculature.

The description of the anatomy of the suspensory ligament and the image documentation form a reliable base for the diagnosis of its diseases, which so far occurred mainly as ruptures in young cattle at the age of about 1 year.

## **3 Einleitung**

### **3.1 Ausgangslage**

Der Fesseltrageapparat, eine wichtige anatomische Struktur an den Gliedmassen von Wiederkäuern und Pferden, wird beim Rind im Wesentlichen durch den M. interosseus medius gebildet. Der anatomische Aufbau dieses Muskels ist in der Literatur genauestens beschrieben, in Bezug auf die gewebliche Zusammensetzung halten sich die meisten Autoren aber bedeckt. Er sei bei Jungtieren noch muskulös, nehme mit zunehmendem Alter aber sehnigen Charakter an (MAIERL, 2004; SEIFERLE und FREWEIN, 2004; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015; PFARRER et al., 2017).

Erkrankungen des Fesselträgers stellen eine sehr häufige Lahmheitsursache bei Pferden dar, wobei schon kleinste Verletzungen den Nutzen der Tiere stark einschränken können. Rinder hingegen sind deutlich weniger anfällig für Verletzungen des M. interosseus medius, was zu einem grossen Teil durch die unterschiedliche Nutzung der Tiere zu erklären ist. Nichtsdestotrotz wurden in der Nutztierklinik des Tierspitals Zürich in den letzten Jahren vermehrt Fälle von Niederbrüchen des Fesselträgers dokumentiert (NUSS et al., 2017). Auffällig ist, dass vor allem junge Tiere im Alter von circa einem Jahr betroffen sind.

Diese beim Jungrind vorkommenden Rupturen des M. interosseus medius waren der Anlass, die Struktur des M. interosseus medius histologisch (RICKENBACHER, 2013) und ultrasonographisch (BOPPART, 2013) zu untersuchen. Die beim Pferd regelmässig gefundenen Muskelanteile im Fesselträger (KAMINSKI, 2006; WEINGART, 2006) und die so häufig auf den Fesselträger zurückzuführenden Lahmheiten beim Pferd (TRUMP, 2014) waren Grund genug, die feingeweblichen Strukturen des Fesselträgers auch beim Rind näher zu klären.

### **3.2 Zielsetzung**

Nach ersten Untersuchungen des histologischen Baus des M. interosseus medius vom einjährigen Rind, soll im Rahmen der hier vorgelegten Arbeit vor allem der M. interosseus medius mitsamt seinen umgebenden Strukturen dargestellt werden. Hierzu sollten vor allem

Hartschnittpräparate erstellt werden, die es erlauben, alle Strukturen des M. interosseus medius samt seiner Nachbarschaft ohne grosse Artefakte darzustellen. Dazu wurden jeweils das rechte Vorder- und Hinterbein von sechs einjährigen Rindern untersucht. Für die histologische Untersuchung wurden vom M. interosseus medius an definierten Stellen Proben entnommen und Methylmethacrylat-Schnitte hergestellt. Zusätzlich wurden Querschnitte durch die palmare bzw. plantare Fusshälfte hergestellt, welche ebenfalls in Methylmethacrylat (MMA) eingebettet wurden.

Diese Querschnitte sollen einen Überblick über die topographischen Verhältnisse am Rinderfuss liefern und auch eine Hilfestellung bei der Beurteilung von Ultraschallbildern sein. Zu diesem Zweck wurden die MMA-Schnitte entsprechenden Ultraschallbildern derselben Lokalisation gegenübergestellt. Denn in der Diagnostik von Fesselträgererkrankungen spielt die Sonographie eine zentrale Rolle. Läsionen im Bereich des Sehnengewebes machen sich durch hypoechogene Areale bemerkbar. Zudem können die Sehnenfasern wellig und aufgelockert erscheinen. Das Vorhandensein von Muskulatur und Fettgewebe im Bereich des M. interosseus medius kann die Diagnose und Lokalisation von Verletzungen aber stark erschweren. Im Vergleich zum hyperechogenen Sehnengewebe stellen sich diese Gewebearten im Ultraschall deutlich hypoechogener dar und können somit leicht mit Sehnenläsionen verwechselt werden. Der Vergleich von Hartschnittpräparaten mit Ultraschallbildern soll bei der Interpretation von fraglich pathologischen Befunden helfen.

Als zweiter Aspekt sollten durch Punktzählverfahren an ausgewählten Querschnittspräparaten die verschiedenen Gewebeanteile in den Muskelzonen des M. interosseus medius erfasst werden.



## 4 Literaturübersicht

### 4.1 Anatomie des Rinderfusses

Als Grundlage zur mikroskopischen Anatomie des M. interosseus medius und seiner Umgebung sollen die wichtigsten Strukturen an Karpalgelenk und Zehe, sowie des Sprunggelenks und des Mittelfusses samt Muskeln und Sehnen anhand der bisherigen Literatur dargestellt werden. Zur genauen Kenntnis der Verhältnisse an Vorderfuss und Hinterfuss wird auch die Innervation und die Blutgefäßversorgung von proximal beginnend anhand der Literatur beschrieben.

#### 4.1.1 Knöcherne Strukturen

Zu den knöchernen Strukturen des Vorderfusses gehören von proximal nach distal die Karpalknochen, die drei Metakarpalknochen sowie die Knochen der Zehen.

Die Knochen des Karpus sind angeordnet in eine proximale, antebrachiale und eine distale, metakarpale Reihe. Zur proximalen Reihe zählen von medial nach lateral das Os carpi radiale, das Os carpi intermedium, das Os carpi ulnare und das Os carpi accessorium. Die distale Reihe enthält medial die miteinander verschmolzenen Ossa carpalia II+III und lateral das Os carpale IV; das Os carpale I ist nicht ausgebildet (NICKEL et al., 2004b; PFARRER et al., 2017).

Im Bereich des Hauptmittelfusses sind die **Ossa metacarpalia III und IV** unvollständig miteinander zum Röhrbein verschmolzen, wobei ihr distales Ende durch die Incisura intertrochlearis, auch Incisura intercapitalis genannt (PFARRER et al., 2017), wieder getrennt ist. Auf der gewölbten, dorsalen Seite und der ebenen, palmaren Seite des Os metacarpale III+IV verläuft der Sulcus longitudinalis dorsalis bzw. palmaris. Dies gilt als Merkmal für seine ursprünglich doppelte Anlage. Als weiteres Merkmal zählt die sagittale Scheidewand, welche die Markhöhle unvollständig zweiteilt. Das rudimentäre Os metacarpale V hat die Form eines distal sich verjüngenden Stäbchens und liegt dem Proximalende des Röhrbeins palmarolateral an. Die Ossa metacarpalia I und II sind nicht ausgebildet (NICKEL et al., 2004b).

Die Knochen der Zehen bilden zwei Haupt- und zwei Afterzehen. Die beiden Hauptzehen sind die Zehen des Mc III+IV und sie sind vollständig ausgebildet. Sie bestehen jeweils aus drei Zehenknochen, dem **Fesselbein** (Os compedale, Phalanx proximalis), dem **Kronbein** (Os coronale, Phalanx media) und dem **Klauenbein** (Os ungulare, Phalanx distalis). Jeder Hauptzehe liegen insgesamt drei Sesambeine (Ossa sesamoidea) an. Palmar an den Fesselgelenken befinden sich jeweils **ein axiales und ein abaxiales Gleichbein** (Ossa sesamoidea proximalia). Palmar im Bereich der Klauengelenke befindet sich das **Klauensesambein** (Os sesamoideum distale) (NICKEL et al., 2004b; PFARRER et al., 2017).

Die beiden **Afterzehen** stellen ein- oder zweigliedrige Reste des 2. und 5. Strahls dar. Sie enthalten noch ein Klauenbein und eventuell Reste des Kronbeins (GEYER, 2015). Die Afterzehen haben keinen Bodenkontakt und sind mit den Hauptzehen nur durch bandartige Faszienv Verstärkungen verbunden (NICKEL et al., 2004b; PFARRER et al., 2017).

An der Hintergliedmasse bilden lediglich fünf Fusswurzelknochen den Tarsus. Man unterscheidet eine proximale, mittlere und distale Reihe. Zur proximalen Reihe gehören das **Rollbein** (Talus) und das **Fersenbein** (Calcaneus). Die mittlere Reihe wird einzig durch das Os tarsi centrale gebildet, welches jedoch mit dem lateral liegenden Os tarsale IV der distalen Reihe zum **Os centroquartale** verschmolzen ist. In der distalen Reihe befindet sich mediopantar das **Os tarsale I**, danach von medial gegen lateral das miteinander verschmolzene **Os tarsale II+III** (PFARRER et al., 2017).

Die Knochen des Mittelfusses weisen nur geringgradige Unterschiede zur Vordergliedmasse auf. So fehlt das rudimentäre Os metatarsale V gänzlich, dafür liegt dem Os metatarsale III proximopantar ein kleines Sesambein (**Os sesamoideum metatarsale**) an. Dieses wird manchmal auch fälschlicherweise als Os metatarsale II bezeichnet. Das Röhrbein ist an der Hintergliedmasse länger als an der Vordergliedmasse. An der Hintergliedmasse ist der Querschnitt des Röhrbeins eher quadratisch, während der Querschnitt an der Vordergliedmasse eine querovale Form aufweist (NICKEL et al., 2004b; LIEBICH et al., 2015; PFARRER et al., 2017). Die Phalanges proximales und mediae sind an der Hintergliedmasse etwas kürzer als an den Vorderzehen (NICKEL et al., 2004b).

#### 4.1.2 Gelenke und Bänder

Das **Vorderfusswurzelgelenk** (Articulatio carpi) ist ein zusammengesetztes Gelenk, gebildet aus den Knochen des Unterarms (Radius, Ulna), den Vorderfusswurzelknochen und den Knochen des Vordermittelfusses (Metakarpus). Das Gelenk ist in drei Gelenkspalten mit eigenen Synovialräumen aufgeteilt, proximal beginnend mit der Art. antebrachioarpea, gefolgt von dem Art. mediocarpea und den Artt. carpometacarpeae. Zusätzlich bilden die Knochen innerhalb der beiden Karpalreihen sogenannte Vorderfusswurzel-Zwischengelenke (Artt. intercarpeae). Dies sind straffe Gelenke, welche kaum Bewegung ermöglichen. Zur Anheftung des karpalen Sesambeins befindet sich zudem lateropalmar die Art. ossis carpi accessorii. Hierbei handelt es sich um eine Verbindung aus vier palmaren Haltebändern (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2015).

Die **Art. antebrachioarpea** wird gebildet aus den distalen Enden von Radius und Ulna und den Karpalknochen der proximalen Reihe. Es handelt sich um ein Walzengelenk, welches bei den Wiederkäuern zu einem Schraubengelenk modifiziert ist und am meisten Beweglichkeit ermöglicht (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2015).

Die **Art. mediocarpea** stellt eine gelenkige Verbindung der Karpalknochen der proximalen und distalen Reihe dar. Es handelt sich ebenfalls um ein Walzengelenk, welches als Wechselgelenk funktioniert und im Vergleich zum proximalen Gelenk weniger zur Beweglichkeit des gesamten Karpalgelenks beiträgt.

Die **Vorderfusswurzel-Mittelfussgelenke (Artt. carpometacarpeae)** verbinden die Knochen der distalen Karpalreihe mit den Mittelfussknochen. Es handelt sich um straffe Gelenke mit fast ebenen Gelenkflächen, welche kaum Gelenksbewegung zulassen (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2015).

Die Bänder des Vorderfusswurzelgelenks lassen sich in fünf Gruppen einordnen. Die Seitenbänder (Ligg. collateralia), Unterarm-Fusswurzelbänder (Ligg. antebrachioarpea), Vorderfusswurzelbänder (Ligg. intercarpea), Bänder des Os carpi accessorium und Vorderfusswurzel-Mittelfussbänder (Ligg. carpometacarpea) (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2015). Die palmaren Vorderfusswurzelbänder bilden mit der Ursprungssehne des M. interosseus medius eine funktionelle Einheit und sind schwer von dieser zu trennen (NICKEL et al., 2004b).

Zusätzlich zu den Gelenksbändern befinden sich dorsal und palmar am Karpalgelenk bandartige Faserbündel. Dorsal das Retinaculum extensorum, welches eine bindegewebige Verstärkung der Gelenkskapsel darstellt und palmar das Retinaculum flexorum, eine Verstärkung der tiefen Faszie. Dieses ist als Sehnenhalteband an der Bildung des Karpalkanals (Canalis carpi) beteiligt (NICKEL et al., 2004b).

Bei den Zehengelenken des Rindes unterscheidet man von proximal nach distal die jeweils doppelt ausgebildeten Fessel-, Kron- und Klauengelenke. Die **Fesselgelenke** (Artt. metacarpophalangeae), auch Zehengrundgelenke genannt, werden gebildet durch die distalen Enden der hier selbstständig ausgebildeten Ossa metacarpalia III und IV, die Fesselbeine und palmar durch die Sesambeinpaare. Es handelt sich um Scharniergelenke, welche als Wechselgelenke funktionieren (NICKEL et al., 2004b). Die Gelenkshöhlen der beiden Fesselgelenke kommunizieren miteinander (PFARRER et al., 2017).

Bei den Bändern der Fesselgelenke unterscheidet man das proximale Zwischenzehenband (Lig. interdigitale proximale), die Seitenbänder (Ligg. collateralia) und die Sesambeinbänder (Ligg. sesamoidea). Das proximale Zwischenzehenband verbindet beidseits die axialen Sesambeine mit den proximalen Anteilen der Fesselbeine. Die Seitenbänder bestehen an jedem Fesselgelenk aus einem axialen und einem abaxialen Band. Die Sesambeinbänder bestehen aus proximalen, mittleren und distalen Bändern, wobei die proximalen Bänder ausschliesslich durch die Seitenschenkel und Seitenstränge des M. interosseus medius gebildet werden. Zu den mittleren Sesambeinbändern gehört das Lig. palmare laterale bzw. mediale, welches das jeweilige Sesambeinpaar miteinander verbindet, das Lig. intersesamoideum interdigitale, welches die beiden axialen Sesambeine miteinander verbindet, sowie die Ligg. sesamoidea collateralia. Diese verankern beidseits das axiale Sesambein am gleichseitigen Fesselbein, sowie am distalen Ende des Metakarpus. Die distalen Sesambeinbänder werden gebildet durch die Ligg. sesamoidea cruciata, das Lig. phalangoseseamoideum interdigitale sowie durch das Lig. sesamoideum obliquum. Zusätzlich zählen der mediale und laterale Unterstützungsast der Seitenstränge des M. interosseus medius, sowie die Interdigitalschenkel seiner Mittelplatte zu den distalen Sesambeinbändern (NICKEL et al., 2004b).

Die **Krongelenke**, auch Zehenmittelgelenke (Artt. interphalangeae proximales) genannt, werden von den Walzen der Fesselbeine und den Kronbeinpfannen, in Form von Sattelgelenken, gebildet. Die Zehen sind auf dieser Ebene noch von einer gemeinsamen Hautmanschette

umgeben, die beiden Gelenke sind jedoch durch das interdigitale lockere Bindegewebe und umgebene Bänder voneinander getrennt. Die Krongelenke werden unterstützt durch jeweils ein axiales und abaxiales Seitenband (Ligg. collateralia axialia und abaxialia), sowie gegen dorsal durch das beidseits ausgebildete axiale gemeinsame Seitenband des Kron- und Klauengelenks. Dieses ist gespannt zwischen Fessel- und Klauenbein und zusätzlich am Kronbein angeheftet. Zusätzlich sind am Krongelenk jeweils drei Palmarbänder (Ligg. palmaria) ausgebildet. Ein palmares, ein kräftiges abaxiales, sowie ein schwächeres axiales Band (NICKEL et al., 2004b).

Die **Klauengelenke** oder Zehenendgelenke (Artt. interphalangeae distales) funktionieren ebenfalls als Sattelgelenke und werden gebildet durch die Kronbeine, die Klauenbeine und die distalen Sesambeine. Die beiden Hauptzehen werden proximal des Zwischenklauenspaltes durch das distale Zwischenzehenband (Lig. interdigitale distale) zusammengehalten, unterstützt durch die distal davon gelegene Hautbrücke. Die beiden Klauengelenke sind dorsal von je einem Lig. dorsale umgeben, sowie seitlich von jeweils einem Lig. collaterale axiale und abaxiale. Zum Klauensesambein ziehen vom Klauenbein je ein axiales und ein abaxiales Sesambein-Klauenbeinband (Ligg. sesamoidea distalia). Weiter sind die Klauensesambeine nach proximal je mit dem Kronbein durch das Lig. sesamoideum collaterale axial und abaxial verbunden (NICKEL et al., 2004b).

Das **Hinterfusswurzel- oder Sprunggelenk** (Art. tarsi) ist ein zusammengesetztes Gelenk und wird gebildet durch die Knochen des Unterschenkels (Tibia, Os malleolare der Fibula) der Hinterfusswurzel (Tarsus) und des Mittelfusses (Metatarsus). Das Sprunggelenk besteht aus vier annähernd horizontalen Gelenksspalten, welche eigene Synovialhöhlen besitzen. Daneben befinden sich innerhalb der Knochenreihen sogenannte Hinterfusswurzel-Zwischengelenke (Artt. intertarseae).

An der Bildung des Unterschenkel-Hinterfusswurzelgelenks (Art. tarsocruralis) sind die Trochlea tali, die Cochlea tibiae sowie das Os malleolare der Fibula beteiligt. Letzteres artikuliert distal auch mit dem Calcaneus. Das Unterschenkel-Hinterfusswurzelgelenk ist als Scharniergelenk ausgebildet und trägt am meisten zur Beweglichkeit des Sprunggelenks bei. Das Sprungbein-Fersenbeingelenk (Art. talocalcanea) ist nach Nickel et al. (2004) ein straffes Gelenk und gehört definitionsgemäss zu den Artt. intertarseae. Das **obere Hinterfusswurzel-**

**Mittelgelenk** besteht seinerseits aus der Art. talocalcaneocentralis und der Art. calcaneoquartalis und funktioniert beim Wiederkäuer als Walzengelenk. Das **untere Hinterfusswurzel-Mittelgelenk** (Art. centrodistalis) stellt ein straffes Gelenk dar, welches kaum Bewegung zulässt. Die **Hinterfusswurzel-Mittelfussgelenke** (Artt. tarsometatarsee) sind ebenfalls als straffe Gelenke ausgebildet, wobei die Tarsalknochen der distalen Reihe mit den proximalen Enden der Metatarsalknochen artikulieren (NICKEL et al., 2004b; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015).

Die Gelenksbänder am Tarsus werden eingeteilt in Seitenbänder (Ligg. collateralia), proximale und distale Fusswurzelbänder, sowie Fusswurzel-Mittelfussbänder (Ligg. tarsometatarsee). Die Seitenbänder bestehen medial und lateral aus jeweils langen und kurzen Anteilen. Die proximalen und distalen Fusswurzelbänder überspannen eine oder mehrere Gelenksspalten, wobei sie längs, schräg oder quer verlaufen. Die distalen Fusswurzelbänder werden unterteilt in dorsale, plantare und innere Tarsalbänder. Von den plantaren ist das lange Sohlenband (Lig. plantare longum) funktionell das wichtigste. Es entspringt plantar am Tuber calcanei und trennt sich beim Rind in einen medialen und einen lateralen Schenkel. Die Fusswurzel-Mittelfussbänder verbinden dorsal die Tarsalknochen und die Mittelfussknochen bindegewebig miteinander. Zusätzlich wird der Tarsus durch Faszienv Verstärkungen (Retinacula) unterstützt, welche als Haltebänder für Sehnen, Nerven und Gefäße dienen (NICKEL et al., 2004b; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015).

Die Verbindungen der Metatarsal- und Zehenknochen stimmen weitestgehend mit denen der Schultergliedmasse überein und werden hier nicht mehr näher beschrieben (NICKEL et al., 2004b; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015).

#### 4.1.3 Muskeln und Sehnen

Von den langen Zehenmuskeln der Schultergliedmasse befinden sich die Extensoren kraniallateral und die Flexoren kaudomedial am Unterarm. Der **M. extensor digitalis communis** besteht aus zwei separaten Muskelbäuchen mit eigenen Endsehnen. Diese ziehen dorsolateral als gemeinsame Strecksehne über das Karpalgelenk und werden durch das Retinaculum extensorum in ihrer Lage gehalten. Der laterale Bauch entspringt mit einem Kopf am lateralen Epikondylus des Humerus und mit einem zweiten Kopf an der Ulna. Auf halber Höhe des Unterarmes vereinigen sich die beiden und ziehen als dünne Sehne zusam-

men mit der Sehne des medialen Bauches über den Karpus, bevor sie sich auf Höhe des Fesselgelenks, umhüllt von einer Sehnenscheide, in zwei Schenkel spaltet und am Proc. extensorius des Klauenbeines der dritten bzw. vierten Zehe endet. Der mediale Bauch entspringt ebenfalls am Epicondylus lateralis humeri und zieht dorsomedial ans Kronbein der dritten Zehe, sowie mit einem dünnen Sehnenblatt ans Klauenbein. Auf Höhe des Fesselgelenks erhält die Sehne von abaxial den medialen Unterstützungsast und von axial den medialen Interdigitalschenkel vom M. interosseus medius (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **M. extensor digitalis lateralis** entspringt als einheitlicher Muskel ebenfalls am lateralen Epikondylus des Humerus sowie am lateralen Bandhöcker des Radius und zieht, fixiert durch das Retinaculum flexorium und eingebettet in eine Sehnenscheide, über den Karpus und endet dorsolateral am Kronbein der vierten Zehe. Zusätzlich zieht ein dünnes Sehnenblatt ans Klauenbein. Auf Höhe des Fesselgelenks erhält seine Sehne von axial her den lateralen Interdigitalschenkel und von abaxial her den lateralen Unterstützungsast des M. interosseus medius (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; SALOMON, 2015).

Der **M. abductor pollicis longus** entspringt am lateralen Rand des Radius und zieht, umhüllt von einer Sehnenscheide, medioproximal ans Os metacarpale III. Er fungiert als Strecker des Karpalgelenks (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; SALOMON, 2015; PFARRER et al., 2017).

Der **M. flexor digitalis superficialis** entspringt am Epicondylus medialis humeri und teilt sich im proximalen Drittel des Unterarms in einen oberflächlichen und einen tiefen Bauch. Die Sehne des oberflächlichen Bauches zieht ausserhalb des Retinaculum flexorum zum Metakarpus, während die Sehne des tiefen Bauches, zusammen mit der tiefen Beugesehne und Leitungsstrukturen, unter dem Retinaculum flexorum durchzieht. Die beiden Sehnen vereinen sich schliesslich palmar, auf mittlerer Höhe des Metakarpus, zur einheitlichen oberflächlichen Beugesehne. Oberhalb des Fesselgelenks teilt sich die Sehne in zwei Schenkel, welche sich mit den Schenkeln der Verbindungsplatte des M. interosseus medius zu jeweils einer Sehnenmanschette, auch Manica flexoria genannt, verbinden. Diese Manschetten ummanteln die jeweiligen Schenkel der tiefen Beugesehne und sind zusätzlich von den Fesselbeugesehnenscheiden, welche teilweise miteinander kommunizieren, umhüllt. Die beiden Schenkel der oberflächlichen Beugesehne inserieren jeweils mit drei Ästen palmar am Kronbein der jeweiligen Zehe (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; PFARRER et al., 2017).

Zwischen dem tiefen Bauch der oberflächlichen Beugesehne und der tiefen Beugesehne finden sich muskulöse Verbindungsstränge, welche als **Mm. interflexorii** (LIEBICH et al., 2015; PFARRER et al., 2017) oder *M. interflexorius distalis* (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bezeichnet werden.

Der **M. flexor digitalis profundus** besteht aus je einem Caput humerale, ulnare und radiale und entspringt dementsprechend am Epicondylus medialis humeri, kaudomedial am Olekranon, sowie kaudal am proximalen Radiusdrittel. Die drei Köpfe vereinigen sich proximal des Karpus und ziehen als einheitliche tiefe Beugesehne über die Karpalbeuge, unterlagert von einer Bursa. Proximal der Fesselgelenke teilt sich die Sehne in zwei Schenkel, von welchen einer an die dritte und der andere an die vierte Zehe zieht. Die Schenkel sind umhüllt von der Manica flexoria, die Sehnenmanschette gebildet aus der oberflächlichen Beugesehne und der Verbindungsplatte des *M. interosseus medius*. Im Bereich der Fesselbeuge treten die beiden Schenkel wieder aus der Manschette aus, und ziehen an das Tuberculum flexorium des Klauenbeins der dritten bzw. vierten Zehe. Zuvor entlassen sie noch einen schwachen, elastischen Zug an die Kronbeine der entstehenden Zehe. Im Bereich des Fesselgelenks und am Fesselbein werden die Schenkel der oberflächlichen und tiefen Beugesehne durch das Fesselringband und das Ringband des Fesselbeins in Position gehalten. Weiter distal übernehmen die Bandmassen des distalen Zwischenzehenbandes diese Funktion (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Zu den kurzen Zehenmuskeln zählt beim Wiederkäuer nur der starke **M. interosseus medius**. Dieser gehört zu den wichtigsten Strukturen des Fesseltrageapparates. Er verhindert eine Hyperextension des Fesselgelenks und eine Hyperflexion des Krongelenks. Er ist bei Jungtieren noch fast ganz muskulös, nimmt jedoch mit zunehmendem Alter immer mehr sehnigen Charakter an (MAIERL, 2004; SEIFERLE und FREWEIN, 2004; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015; PFARRER et al., 2017). Dies gilt als Hinweis für seine passive Tragefunktion. Er liegt dem Metakarpus unmittelbar palmar an und hat seinen Ursprung proximal palmar am Metakarpus, sowie am Lig. carpi palmare profundum (NUSS et al., 2017; PFARRER et al., 2017), bzw. am Lig. carpi radiatum, welches ein Anteil des Lig. carpi palmare profundum darstellt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015), oder nur am proximalen Metakarpus (MAIERL, 2004). An einer anderen Textstelle beschreiben Seiferle und Frewein (2004), sowie Liebich et al. (2015) den Ursprung an den distalen Karpalknochen und aus den palmaren Karpalbändern. In der Mitte des



Metakarpus entlässt der *M. interosseus medius* eine Verbindungsplatte, welche sich in zwei Schenkel teilt. Diese verbinden sich mit den entsprechenden Schenkeln der oberflächlichen Beugesehne zur *Manica flexoria*, der Sehnenmanschette, welche die jeweiligen Äste der tiefen Beugesehne ummantelt. Zusätzlich verschmelzen die Schenkel palmar auch mit der kräftigen Mittelfussfaszie (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im distalen Drittel des Metakarpus teilt sich der *M. interosseus medius* auf in eine Mittelplatte und zwei Seitenstränge. Letztere ziehen an die abaxialen Sesambeine der dritten und vierten Zehe. Die beiden Seitenstränge entlassen ihrerseits je einen Unterstützungsast, welche abaxial nach dorsal zur Sehne des *M. extensor digitalis lateralis* bzw. zur medialen Sehne des *M. extensor digitalis communis* ziehen und sich mit diesen vereinen. Die Mittelplatte teilt sich weiter auf in die Seitenschenkel und den Interdigitalschenkel. Erstere ziehen zu den axialen Sesambeinen der dritten, bzw. vierten Zehe. Der Interdigitalschenkel zieht durch die *Incisura intertrochlearis* nach dorsal, teilt sich ebenfalls in zwei Stränge und verbindet sich wie die Unterstützungsäste mit den jeweiligen Sehnen der langen Zehenstrecker (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; KÖNIG et al., 2013).

Die langen Zehenstrecker der Beckengliedmasse, welche kranial am Unterschenkel liegen, wirken auch als Beuger des Sprunggelenks (PFARRER et al., 2017). Der ***M. extensor digitalis longus*** hat seinen Ursprung an der *Fossa extensoria* des Femurs, zusammen mit dem *M. fibularis tertius*, mit dem er zu einem Grossteil verbunden und von diesem bedeckt ist. Die beiden Muskeln trennen sich im proximalen Drittel des Unterschenkels und der *M. extensor digitalis longus* teilt sich in einen lateralen, oberflächlichen und einen medialen, tiefen Bauch, welche noch proximal des Tarsus in ihre Sehnen übergehen. Die beiden Sehnen ziehen in einer gemeinsamen Sehnenscheide über die Sprunggelenkskehle und dem Metatarsus dorsal anliegend weiter nach distal. Die Sehne des medialen Bauches inseriert am Kronbein der medialen Zehe, unterlagert von einem Schleimbeutel. Auf Höhe des Fesselbeins erhält sie zudem von abaxial den Unterstützungsast und von axial den Interdigitalschenkel des *M. interosseus medius*. Die Sehne des lateralen Bauches teilt sich oberhalb des Fesselgelenks in zwei Äste auf, von welchen einer zum Klauenbein der dritten und einer zum Klauenbein der vierten Zehe zieht. Die beiden Äste sind jeweils von einer Sehnenscheide umhüllt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der kräftige ***M. extensor digitalis lateralis*** hat seinen Ursprung am lateralen Seitenband des Kniegelenks, sowie am *Condylus lateralis* der Tibia und geht oberhalb des Tarsus in eine

starke Sehne über. Diese zieht, am Tarsus umgeben von einer Sehnenscheide, dorsolateral des Metatarsus nach distal und inseriert, unterlagert von einem Schleimbeutel, am Kronbein der vierten Zehe. Auf Fesselbeinhöhe verbindet sie sich zudem mit dem lateralen Unterstützungsast und dem lateralen Interdigitalschenkel des *M. interosseus medius* (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die langen Zehenbeuger funktionieren auch als Strecker des Tarsalgelenks und befinden sich kaudal am Unterschenkel (PFARRER et al., 2017). Der stark sehnig durchsetzte **M. flexor digitalis superficialis** entspringt an der Tuberositas supracondylaris lateralis ossis femoris, flankiert und bedeckt durch die beiden Köpfe des *M. gastrocnemius*. Er geht, noch bedeckt durch den *M. gastrocnemius*, in eine starke Sehne über, welche sich medial über die Achillessehne windet und am Tuber calcanei die Fersenbeinkappe bildet. Die Fersenbeinkappe ist unterlagert von der Bursa subtendinea calcanea und beidseits mit dem Fersenbeinhöcker verbunden. In ihrem weiteren Verlauf nach distal verhält sich die oberflächliche Beugesehne wie an der Schultergliedmasse (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; PFARRER et al., 2017).

Der **M. flexor digitalis profundus** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; LIEBICH et al., 2015) bzw. die *Mm. flexores digitales profundi* (SALOMON, 2015; PFARRER et al., 2017) bestehen aus drei separaten Muskeln, die da wären der *M. flexor digitalis lateralis*, der *M. tibialis caudalis* und der *M. flexor digitalis medialis* (LIEBICH et al., 2015; SALOMON, 2015; PFARRER et al., 2017). Der *M. flexor digitalis lateralis*, auch *M. flexor hallucis longus* genannt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) entspringt am Condylus lateralis tibiae und an der Kaudalfläche der Tibia. Die anderen beiden entspringen nur am Condylus lateralis tibiae (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; PFARRER et al., 2017). Der *M. flexor digitalis medialis* wird auch *M. flexor digitalis longus* genannt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Sehnen des *M. flexor digitalis lateralis* und des *M. tibialis caudalis* verschmelzen bereits proximal des Tarsus miteinander und werden im Bereich des Tarsus von einer gemeinsamen Sehnenscheide ummantelt. Weiter distal davon vereinigt sie sich mit der Sehne des *M. flexor digitalis medialis*, welche in der oberen Hälfte des Tarsus ebenfalls von einer eigenen Sehnenscheide umgeben ist, zur gemeinsamen tiefen Beugesehne. Diese verhält sich in ihrem weiteren Verlauf analog zur tiefen Beugesehne der Schultergliedmasse (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **M. interosseus medius** entspringt an der Beckengliedmasse plantar am Tarsus und proximal plantar am Metatarsus (NUSS et al., 2017; PFARRER et al., 2017). Die Sehnenfasern

sind im Ursprungsgebiet jedoch häufig nicht exakt differenzierbar (NUSS et al., 2017). Im weiteren Verlauf verhält er sich wie an der Vordergliedmasse (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; LIEBICH et al., 2015; PFARRER et al., 2017).

#### 4.1.4 Innervation

Der Vorderfuss des Rindes wird im Wesentlichen von drei Nerven innerviert. Diese sind der N. radialis, der N. ulnaris und der N. medianus. Der starke **N. radialis** entspringt aus mittleren und kaudalen Teilen des Plexus brachialis (C7, C8 und Th1) und versorgt die Extensoren des Ellbogen- und Karpalgelenks, sowie der Zehengelenke. Der Stamm des N. radialis zieht auf mittlerer Höhe des Oberarms in die Tiefe, weiter nach lateral und distal über den Humerus hinweg zur Beugeseite des Ellbogens. Kaudal am Oberarm entlässt der N. radialis seine Muskeläste (Rami musculares) an die Trizepsgruppe, sowie an den M. anconaeus und M. tensor fasciae antebrachii. Danach teilt er sich lateral am Oberarm auf in einen Ramus superficialis und einen Ramus profundus. Letzterer zieht über die Beugeseite des Ellbogens hinweg und innerviert die Muskeln kraniolateral am Unterarm. Der Ramus superficialis entlässt auf halber Höhe des Unterarms den N. cutaneus antebrachii lateralis, welcher mit mehreren Ästen den Hautbezirk lateral am Unterarm innerviert. Auf seinem Weg nach distal verbindet er sich proximal des Karpus mit dem N. cutaneus antebrachii medialis des N. musculocutaneus, bevor er dorsal am Metakarpus weiter zehenwärts zieht. Im distalen Drittel des Metakarpus teilt sich der Ramus superficialis in die Nn. digitales dorsales communes II und III, wobei der N. digitalis dorsalis communis II als N. digitalis dorsalis proprius III abaxialis endet. Der N. digitalis dorsalis communis III teilt sich nochmals auf und endet als Nn. digitales dorsales proprii III et IV axiales (NICKEL et al., 2004a; PFARRER et al., 2017).

Der **N. medianus** ist der stärkste Ast des Plexus brachialis und entspringt vorallem aus C8 und Th1. Er innerviert zusammen mit dem N. ulnaris die Beuger des Karpalgelenks und der Zehengelenke, sowie die Haut kaudal am Unterarm und an der palmaren und dorsolateralen Seite des Metakarpus und der Zehen. Zusätzlich sorgen die beiden Nerven auch für eine sensible Innervation des Ellbogen- und Karpalgelenks, der Zehengelenke, des Periosts, sowie der Sehnen und Bänder im Bereich des Unterarms und des Vorderfusses. (NICKEL et al., 2004a). Der N. medianus verläuft medial des Oberarms und des Ellbogengelenks zum Unterarm. An die mediale Aussackung des Ellbogengelenks entlässt er sensible Äste, bevor er an die kaudomediale Seite des Unterarms und Richtung Karpus zieht, umgeben vom M. flexor carpi

radialis und vom M. flexor digitalis profundus, sowie von der A. mediana. Hier entlässt er Rami musculares an den M. flexor carpi radialis, den M. pronator teres, den M. flexor digitalis profundus, sowie an die Mm. interflexorii. Proximal des Karpus entspringt der Ramus cutaneus, welcher medial an die Oberfläche tritt und die Haut medial am Karpus und im proximalen Drittel des Metakarpus versorgt. Weiter distal verläuft der N. medianus unter dem Retinaculum flexorum hindurch an die mediopalmare Seite des Metakarpus. Im Bereich der distalen Hälfte des Mittelfusses teilt er sich in zwei Äste, die Nn. digitales palmares communes II und IV. Diese teilen sich wiederum in die Nn. digitales palmares proprii abaxiales und axiales, wobei letztere auch zum N. digitalis palmaris communis III verschmelzen können, oder als solcher direkt aus dem N. medianus entspringen. An der Bildung des N. digitalis palmaris communis IV ist zudem der Ramus superficialis des Ramus palmaris N. ulnaris beteiligt (NICKEL et al., 2004a; PFARRER et al., 2017).

Der **N. ulnaris** entspringt wie der N. medianus vor allem aus C8 und Th1 des Plexus brachialis, beim Wiederkäuer kann er aber auch noch Fasern aus Th2 enthalten. Er innerviert die Beuger des Karpalgelenks und der Zehengelenke, sowie über seine Hautäste die kaudale Fläche des Metakarpus und zusammen mit dem N. medianus das Gebiet des Metakarpus und der Zehen. Er verläuft medial am Oberarm zusammen mit dem N. medianus, bis zur Abzweigung der A. collateralis ulnaris, mit welcher er dann zur Streckseite des Ellbogens zieht. Auf dieser Strecke entlässt er seinen Hautast, den N. cutaneus antebrachii caudalis. Weiter distal gelangt der N. ulnaris an die kaudale Seite des Unterarms, wo er proximal die Rami musculares entlässt. Diese innervieren den M. flexor carpi ulnaris, den M. flexor digitalis superficialis, sowie das Caput ulnare und humerale des M. flexor digitalis profundus. Proximal des Karpus teilt sich der N. ulnaris in einen Ramus dorsalis und Ramus palmaris. Ersterer verläuft als N. digitalis dorsalis communis IV dorsolateral am Metakarpus entlang und innerviert schließlich die vierte Zehe als N. digitalis dorsalis proprius IV abaxialis. Der Ramus palmaris entlässt distal des Karpus den Ramus profundus für die Innervation des M. interosseus medius, bevor er als Ramus superficialis lateral der Beugesehnen weiter zehenwärts zieht. Oberhalb des Fesselgelenks verbindet er sich mit dem Ramus communicans des N. medianus und wird somit zum N. digitalis palmaris communis IV. Dieser entlässt noch den N. digitalis dorsalis proprius IV axialis für die laterale Afterklaue, bevor er als N. digitalis palmaris proprius IV abaxialis zur Zehenspitze der vierten Zehe zieht (NICKEL et al., 2004a).

Die beiden Hauptnerven am Hinterfuss des Rindes sind der N. fibularis communis und der N. tibialis. Beide entspringen in der Mitte des Oberschenkels direkt aus dem N. ischiadicus, welcher die direkte Fortsetzung des Truncus lumbosacralis darstellt. Bis zu ihrer vollständigen Auftrennung im Bereich der Kniekehle, sind die beiden Nerven eng miteinander verbunden.

Der **N. fibularis communis** entlässt erst den N. cutaneus surae lateralis, bevor er zur lateralen Seite des Unterschenkels zieht. Dort gelangt er an die Oberfläche, wo er sich in den N. fibularis superficialis und N. fibularis profundus aufteilt. Ersterer zieht über die Beugeseite des Tarsalgelenks zur dorsolateralen Seite des Mittelfusses, welcher er mit Hautästen versorgt. Proximal am Metatarsus entlässt er lateral den N. digitalis dorsalis communis IV, bevor er sich in der Mitte des Metatarsus in die Nn. digitales dorsales communes II und III aufzweigt. Die Nn. digitales dorsales communes II und IV entlassen oberhalb des Fesselgelenks je einen N. digitalis dorsalis proprius II bzw. V axialis zur jeweiligen Afterklaue. Danach ziehen sie als Nn. digitales dorsales proprii III und IV abaxiales zum jeweiligen Klauenbein. Der N. fibularis profundus innerviert mit seinen Muskelästen zuerst alle Muskeln kranial lateral am Unterschenkel, bevor er in die Tiefe Richtung Sprunggelenk zieht, an welches er ebenfalls einen Ast abgibt. Er verläuft weiter über die Beugeseite des Tarsus zum Metatarsus, wo er im Sulcus longitudinalis dorsalis als N. metatarsus dorsalis III zum Zwischenzehenspalt zieht. Bevor er sich in zwei Rami communicantes teilt, welche in der Tiefe des Zehenspaltes mit den Nn. digitales plantares proprii III und IV axiales kommunizieren, verbindet er sich durch einen Ramus communicans mit dem N. digitalis dorsalis communis III des N. fibularis superficialis (NICKEL et al., 2004a).

Der **N. tibialis** verläuft auf der kaudalen und plantaren Seite des Unterschenkels und Metatarsus. Er entlässt erst mehrere Muskeläste (Rami musculares proximales) an die Hinterbackenmuskulatur, sowie den N. cutaneus surae caudalis. Dieser innerviert die Haut kaudal am Unterschenkel, sowie lateral am Tarsus und Metatarsus. Im Bereich der Kniekehle entlässt der N. tibialis die Rami musculares distales an die Extensoren des Sprunggelenks und Flexoren der Zehengelenke, bevor er an die mediale Seite des Unterschenkels zieht. Oberhalb des Tarsus teilt er sich schliesslich auf in den N. plantaris medialis und lateralis. Der N. plantaris medialis verläuft über die mediale Seite des Tarsus zwischen Beugesehnen und Metatarsus zehenwärts und teilt sich unterhalb der Mitte des Metatarsus in die Nn. digitales plantares communes II und III. Der N. digitalis plantaris communis II entlässt den N. digitalis plantaris proprius II axialis an die mediale Afterklaue, bevor er als N. digitalis plantaris

proprius III abaxialis weiter an die dritte Zehenspitze zieht. Der N. digitalis plantaris communis III teilt sich in Fesselbeinmitte in die Nn. digitales plantares proprii III axialis und IV axialis, welche tief im Zwischenzehenspalt mit dem Ramus communicans des N. fibularis profundus kommunizieren. Der N. plantaris lateralis zieht kaudal des Tarsus nach lateral und weiter nach distal. Er entlässt einen Ramus profundus zur Innervation des M. interosseus medius und wird zum N. digitalis plantaris communis IV. Dieser teilt sich schliesslich analog zur medialen Zehe in die Nn. digitales plantares proprii V axialis und IV abaxialis (NICKEL et al., 2004a; PFARRER et al., 2017).

#### 4.1.5 Blutgefässversorgung

Die arterielle Blutversorgung des Vorderfusses erfolgt grundsätzlich über vier Systeme, ein oberflächliches und ein tiefes, welche jeweils palmar und dorsal ausgebildet sind. Das oberflächliche dorsale System wird durch die **Aa. digitales dorsales communes II und III** repräsentiert, welche Endäste der A. antebrachialis superficialis cranialis darstellen. Proximal der Fesselgelenke stehen sie mit dem dorsalen und palmaren tiefen System in Verbindung, bevor sie in die eigentlichen dorsalen Zehenarterien übergehen.

Das tiefe dorsale System entspringt in Form der **A. metacarpea dorsalis III** aus dem Rete carpi dorsale, einem Gefässnetz dorsal am Karpus, gebildet von Ästen der A. radialis. Über sogenannte Rami perforantes anastomosiert die A. metacarpea dorsalis III mit dem oberflächlichen dorsalen und dem tiefen palmaren System, womit sie sich an der Versorgung der Zehen mitbeteiligt.

Die Arterien des tiefen palmaren Systems, die **Aa. metacarpeae palmares II-IV**, entspringen aus dem Arcus palmaris profundus, einem Gefässbogen proximal am Mittelfuss. Dieser Gefässbogen stellt eine Verbindung der A. radialis mit Ästen der A. interossea cranialis dar. Die Aa. metacarpeae palmares II-IV verbinden sich distal am Mittelfuss über Rami perforantes distales mit dem tiefen dorsalen und dem oberflächlichen palmaren System. Somit tragen sie ebenfalls zur Blutversorgung der Zehen bei.

Die **Aa. digitales palmares communes II-IV** stellen das oberflächliche palmare System dar, und entspringen distal am Metakarpus aus dem Arcus palmaris superficialis. Dies ist ein subfaszialer Gefässbogen, gebildet durch die Endaufzweigung der A. mediana. Zusätzlich

nimmt er Äste der A. interossea cranialis sowie die Aa. metacarpeae palmares II-IV auf. Somit liegt das oberflächliche palmare System deutlich weiter distal der übrigen drei Systeme und es ist insgesamt das wichtigste System für die Versorgung der Zehen.

Die eigentlichen Zehenarterien sind schliesslich die direkten Fortsetzungen der oberflächlichen Systeme, wobei sie Zuschüsse von den tiefen Systemen erhalten. Die palmaren Zehenarterien bilden schliesslich im jeweiligen Canalis solearis der Klauenbeine den Arcus terminalis aus, zuvor geben sie aber noch mehrere Dorsaläste ab (GILLE und SALOMON, 2015).

Der venöse Abfluss wird an der Vordergliedmasse durch ein tiefes und ein oberflächliches System gewährleistet. Die tiefen Venen begleiten die gleichnamigen Arterien und sammeln sich schliesslich zur V. axillaris, das oberflächliche Venensystem hat keine arterielle Entsprechung. Aus dem Zusammenfluss der oberflächlichen dorsalen Venen entsteht proximal des Karpus die V. cephalica accessoria, welche sich schliesslich in die V. cephalica ergiesst und somit auch Blut aus dem palmaren System drainiert. Die beiden Venensysteme sind über Vv. communicantes miteinander verbunden (GILLE und SALOMON, 2015).

Wie an der Vordergliedmasse findet man auch am Metatarsus vier arterielle Systeme, wobei das tiefe dorsale System den wichtigsten Zufluss zu den Zehen darstellt.

Die **Aa. digitales dorsales communes II-IV** bilden das oberflächliche dorsale System und entspringen aus dem Ramus superficialis der A. tibialis cranialis. Aus ihnen entspringen schliesslich die Aa. digitales dorsales propriae III und IV axiales und III und IV abaxiales.

Das tiefe dorsale System, bestehend aus **der A. metatarsae dorsalis III**, stellt die Fortsetzung der A. dorsalis pedis dar, welche wiederum aus der A. tibialis cranialis entspringt. Sie anastomosiert über Rami perforantes mit dem plantaren Gefässsystem und vereinigt sich proximal der Fesselgelenke auch mit dem oberflächlichen dorsalen System. Somit beteiligt sie sich auch an der Bildung der Aa. digitales dorsales propriae.

Das tiefe plantare System wird repräsentiert durch die **Aa. metatarsae plantares II-IV**. Diese entspringen distal des Tarsus aus dem Arcus plantaris profundus, einem Gefässbogen gebildet aus der medialen und lateralen A. plantaris, welche aus dem Ramus caudalis der A.

saphena entspringen. Die Aa. metatarseae plantares stehen distal am Metakarpus miteinander in Verbindung und entlassen Zuflüsse zu den plantaren Zehenarterien. Zusätzlich kommunizieren sie über Rami perforantes mit dem dorsalen System.

Die **Aa. digitales plantares communes II und III** stellen das oberflächliche plantare System dar. Sie sind die Endäste des Ramus superficialis der A. plantaris medialis. Distal am Metatarsus kommunizieren sie mit den übrigen Systemen und bilden schliesslich die eigentlichen Zehenarterien, die Aa. digitales plantares propriae axiales und abaxiales. Diese beteiligen sich über Dorsaläste auch an der Versorgung der dorsalen Zehenbereiche und verhalten sich im Allgemeinen analog zu den Aa. digitales palmares propriae der Vordergliedmasse (GILLE und SALOMON, 2015).

Die plantaren Venen der Zehen und des Mittelfusses verhalten sich im Wesentlichen wie ihre begleitenden Arterien und werden analog benannt. Parallel zur A. saphena verläuft die V. saphena medialis, lateral verläuft zusätzlich die oberflächliche V. saphena lateralis, welche keine analoge Arterie besitzt. Ihr Ramus cranialis drainiert die dorsalen Zehenvenen und ihr Ramus caudalis stellt das Hauptgefäss zur Drainage der plantaren Gefässe dar (GILLE und SALOMON, 2015).

#### **4.1.6 Aufbau und Funktion des Fesseltrageapparates**

Der Fesseltrageapparat setzt sich zusammen aus den proximalen sehnigen Anteilen des M. interosseus medius (proximale Gleichbeinbänder), den mittleren Gleichbeinbändern, den distalen Unterstützungsästen des M. interosseus medius und den distalen Gleichbeinbändern (LIEBICH et al., 2015). Da die Fesselgelenke physiologisch in einer Hyperextensionsstellung stehen, hat der Fesseltrageapparat von palmar oder plantar her eine wichtige Haltefunktion. Diese Haltefunktion geschieht passiv, das heisst ohne Muskelkontraktion. Unter Last werden die Fesselgelenke weiter überstreckt, wodurch neben dem M. interosseus medius und den Gleichbeinbändern auch die oberflächliche und tiefe Beugesehne gedehnt werden. Somit leistet der Fesseltrageapparat auch einen wesentlichen Anteil an der Stossdämpfung der Gliedmasse. Durch die Dehnung der Sehnen wird gleichzeitig Bewegungsenergie gespeichert, welche am Ende der Unterstützungsphase wieder abgegeben wird. Die sehnige Durchsetzung des M. interosseus medius wirkt sich somit in zweierlei Hinsicht positiv auf den Energieverbrauch aus. Sie erlaubt einerseits die energiesparende, passive Stabilisierung der Gelenke im



Stand, und andererseits durch die Federwirkung des Sehngewebes eine Rückgewinnung der Bewegungsenergie bei Entlastung der Gliedmasse (MAIERL, 2004).

## **4.2 Verletzungen des M. interosseus medius beim Rind**

Im Vergleich zum Pferd existiert für das Rind nur sehr wenig Literatur über Verletzungen des M. interosseus medius oder des Fesselträgers, da diese häufig nicht klinisch relevant genug sind (SCHLÜCKER, 2012). Während beim Pferd die Veränderungen am Fesselträger die häufigsten Befunde bei Sehnenveränderungen im Bereich des Metakarpus/Metatarsus waren (TRUMP, 2014), sind Sehnenverletzungen beim Rind allgemein eine eher seltene Lahmheitsursache (ANDERSON et al., 2008; STEINER et al., 2014). Sie verursachen jedoch signifikante ökonomische Einbußen, sei es durch Verlust des Tieres oder durch Rückgang der Produktivität (ANDERSON et al., 2008). In der Literatur sind vorwiegend Fallberichte zu traumatischen, offenen Verletzungen der Beugesehnen mit Einbezug des M. interosseus medius zu finden (NUSS, 2017). Jedoch kommen immer wieder geschlossene Rupturen des M. interosseus medius, sogenannte Niederbrüche, vor. Von Nelson et al. (1997) gibt es einen Fallbericht einer geschlossenen Ruptur bei einem fünfeinhalbjährigen Angus Bullen. Dieser zog sich die Verletzung durch einen Kampf mit einem anderen Bullen zu, wobei zusätzlich zum M. interosseus medius auch die oberflächliche Beugesehne rupturiert war. Typischerweise handelt es sich nach einer jüngeren Untersuchung bei den betroffenen Tieren jedoch vorwiegend um acht bis fünfzehn Monate alte Jungtiere (NUSS, 2017). Obschon die genaue Lokalisation der Rupturstelle noch nicht ermittelt wurde, wird vermutet, dass vor allem die Gebiete welche Muskulatur enthalten, betroffen sind. Die Ruptur kann uni- oder bilateral auftreten und es sind sowohl die Vorder- als auch die Hinterbeine betroffen. Die Tiere zeigen typischerweise ein Absinken des Fesselkopfs und der Afterklauen, eine nach hinten gebrochene Krongelenk-Fesselkopf-Achse bei Belastung, eine Schwellung palmar/plantar im Fesselbereich, sowie eine Stützbeinlahmheit Grad 3-4/5. Aufgrund der Schmerzen bevorzugen es die Tiere zu liegen (NUSS, 2017; NUSS et al., 2017).

Bei einer isolierten Ruptur der oberflächlichen Beugesehne vermögen die Schenkel der Verbindungsplatte des M. interosseus medius das Fesselgelenk bis zu einem gewissen Grad zu stabilisieren. Dadurch wird ein vollständiges Absinken des Fesselkopfs verhindert (NUSS, 2017). Besteht hingegen eine Ruptur der tiefen Beugesehne, verlieren die Klauenspitzen

typischerweise ihren Bodenkontakt. Somit kann bereits anhand der klinischen Untersuchung grob abgeschätzt werden, welche Strukturen betroffen sind (NELSON et al., 1997).

Röntgenaufnahmen dienen in erster Linie dazu, Frakturen oder Fesselgelenkluxationen auszuschliessen. Typische Veränderungen auf dem Röntgenbild sind ein Absinken der Gleichbeine und eine nahezu horizontale Position der Fesselbeine bei Belastung. Zusätzlich ist palmar, bzw. plantar eine Weichteilschwellung erkennbar, und in einigen Fällen auch kleine Knochenfragmente dorsal der Fesselbeine, als Folge von repetitiver Hyperextension der Fesselgelenke (NUSS et al., 2017).

Die auffälligsten Veränderungen im Ultraschall sind unregelmässig verdickte, hypoechogen und wellig erscheinende Seitenschenkel und Seitenstränge. Das Absinken der Gleichbeine kann mit Ultraschall ebenfalls dargestellt werden (NUSS, 2017; NUSS et al., 2017). Des weiteren können auch anechogene Areale im Ursprungsbereich und im Körper des M. interosseus medius sowie im Bereich der Verbindungsplatte und der oberflächlichen Beugesehne auftreten (NUSS et al., 2017). Als Folge der Einlagerung von Muskel- und Bindegewebe, zeigt der M. interosseus medius auch bei gesunden Tieren eine geringere Echogenität als die Beugesehnen. Die Sehnenfasern sind aber ebenso streng parallel angeordnet, wie im Bereich der Beugesehnen (KOFLEDER, 2011). Die Untersuchung wird am besten am stehenden, eventuell leicht sedierten Tier durchgeführt. Um ein möglichst gutes Bild zu erhalten, wird die zu untersuchende Stelle geschoren, gewaschen, mit Alkohol gereinigt und viel Kontaktgel aufgetragen. Die Sehnen palmar/plantar am Röhrlbein sind am besten mit einem 7.5-MHz-Linearschallkopf und einer Vorlaufstrecke darstellbar (KOFLEDER, 2011; KOFLEDER et al., 2014), andere Autoren empfehlen einen 10.0-MHz-Linearschallkopf ohne Vorlaufstrecke (GONÇALVES et al., 2014). Die transversale Untersuchungsebene mit dem Schallkopf palmar/plantar ist die Ebene der Wahl. Beginnend am Os accessorium bzw. am Tuber calcanei werden alle Sehnen nach distal durchgemustert. Bei unklaren Befunden lohnt sich zudem ein Vergleich mit der kontralateralen Gliedmasse (KOFLEDER, 2011; KOFLEDER et al., 2014). Nicht immer kann jedoch anhand der klinischen und sonographischen Untersuchung eine sichere Diagnose gestellt werden. In solchen Fällen kann ein MRI der betroffenen Gliedmasse wertvolle Informationen liefern. Untersuchungen am bovinen Tarsus haben gezeigt, dass T1-gewichtete MRI Aufnahmen exzellente Bilder der anatomischen Strukturen liefern (EHLERT et al., 2011). Aufgrund der hohen Kosten, wegen logistischen Problemen und weil eine Anästhesie benötigt wird, ist die Verwendung von MRI in der Rinderpraxis jedoch limi-

tiert und wird meist nur bei sehr wertvollen Tieren eingesetzt. Die benötigten Geräte werden aber zunehmend erschwinglicher, sodass die Verwendung in der Diagnostik in Zukunft sicher zunehmen wird (EHLERT, 2006; EHLERT et al., 2011; KOFLER et al., 2014).

Bei Ruptur des M. interosseus medius wird grundsätzlich eine konservative Therapie, bestehend aus Boxenruhe für rund sechs Monate und Immobilisation der Gliedmasse, empfohlen. Initial wird die Gliedmasse mit einem Kunstharzverband versehen, welcher von den Zehen bis distal des Karpus bzw. Tarsus reicht. Dabei ist darauf zu achten, dass die Zehengelenke in leichter Flexion eingebunden werden, um den Zug auf den M. interosseus medius, die Beugesehnen und die Gleichbeine zu reduzieren. Zudem wird an der Klaue ein Holzkeil angebracht und in den Cast integriert, um das Auffussen zu erleichtern. Um Dekubitusstellen zu verhindern, ist eine gute Polsterung nötig und die Casts müssen alle drei bis vier Wochen gewechselt werden. Nach rund zwölf Wochen wird die Therapie für weitere vier Wochen mit einem Schienenverband weitergeführt. Danach sind weitere acht Wochen Boxenruhe ohne Verband angezeigt (NUSS, 2017). In der klinischen Untersuchung von Nuss et al. (2017) erhielten zudem alle Tiere ein NSAID für mindestens drei aufeinanderfolgende Tage. Obschon eine Sehnennaht eine schnellere und belastungsfähigere Heilung verspricht als eine sekundäre Wundheilung, konnte Anderson et al. (2008) keinen klinisch signifikanten Vorteil im Vergleich zu externer Fixation alleine feststellen.

Verletzungen des M. interosseus medius beim Rind haben im Allgemeinen eine gute Prognose bei unilateraler Ruptur oder nur mildem bilateralem Auftreten (NUSS, 2017). Mögliche Folgen sind jedoch Anzeichen degenerativer Gelenkserkrankungen, sowie Ankylosierung der Fesselgelenke (NELSON et al., 1997; NUSS, 2017).

### **4.3 Verletzungen des M. interosseus medius beim Pferd**

Bei Verletzungen des Fesselträgers des Pferdes unterscheidet man grundsätzlich drei Lokalisationen:

- Verletzungen im Bereich des Fesselträgerursprungs, auch Insertionsdesmopathie des Fesselträgerursprungs oder Proximal Suspensory Desmitis genannt
- Verletzungen des Fesselträgerkörpers, sogenannte Body Lesions
- Verletzungen der Fesselträgerschenkel, auch Branch Lesions genannt

Insertionsdesmopathien des Fesselträgerursprungs an den Vorderbeinen sind häufige Verletzungen bei Sportpferden. Überbelastung der Insertionsstelle führt zu Traumatisierung von Weichteil- und Knochengewebe und es können partielle Abrisse entstehen. Dabei kann das Trauma einmalig sein, z.B. durch Hyperextension beim Landen nach dem Sprung, oder repetitiv und chronisch, häufig verursacht durch Huffehlstellungen (HUSKAMP und NOWAK, 1988). Die Veränderungen können sowohl uni- als auch bilateral auftreten. Die Tiere zeigen eine leicht- bis mittelgradige Lahmheit, welche sich auf weichem Boden verschlechtert. An der Longe ist die Lahmheit deutlicher, wenn die betroffene Gliedmasse an der Aussenseite ist (DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a). Im akuten Stadium kann eine leichtgradige Schwellung im Erkrankungsgebiet auftreten und durch Palpation kann meist eine Schmerzreaktion provoziert werden (HUSKAMP und NOWAK, 1988; DYSON, 1991; DYSON und GENOVESE, 2003).

Verletzungen des Fesselträgerursprungs der Hintergliedmasse treten bei Sportpferden aller Disziplinen und in jedem Alter auf, Dressurpferde sind aber besonders häufig betroffen. Auch tritt die Erkrankung sehr oft bei Standardbred Rennpferden auf (DYSON und GENOVESE, 2003; SCHULZE und BUDRAS, 2008). Im Vergleich zur Vordergliedmasse treten die Veränderungen zudem häufiger bilateral auf. Das akute Stadium kann gekennzeichnet sein durch Schwellung, vermehrte Wärme und Schmerzhaftigkeit, teilweise ist jedoch keines dieser Anzeichen vorhanden (DYSON und GENOVESE, 2003).

Um die Diagnose einer Insertionsdesmopathie an der Vorder- oder Hintergliedmasse zu bestätigen, können diagnostische Leitungsanästhesien hilfreich sein, um als erstes das Problem genauer zu lokalisieren. Dies kann vor allem bei chronischen Fällen nötig sein (DYSON, 1991; DYSON und GENOVESE, 2003). Zur genauen Beurteilung des Fesselträgers ist jedoch die Sonographie essentiell. Mögliche Befunde am Fesselträgerursprung können Verdickung, schlechte Abgrenzung der Ränder, ein gut umschriebenes, zentrales, hypoechoisches Areal, sowie schlecht abgrenzbare, hypoechoische Areale zentral oder peripher sein (DYSON, 1991; DYSON und GENOVESE, 2003). Je nach Schweregrad der Läsion ist auch eine unorganisierte Anordnung der Sehnenfasern erkennbar (PADALIYA et al., 2015). Ultraschallbefunde müssen jedoch stets kritisch beurteilt, und wenn immer möglich mit der kontralateralen Seite verglichen werden, da Muskulatur- und Fettgewebseinschlüsse im Fesselträger sehr leicht mit Läsionen verwechselt werden können (BISCHOFBERGER et al., 2006; KAMINSKI, 2006; LISCHER et al., 2006a; WEINGART, 2006; ZAUSCHER et al., 2013).

Die Röntgenuntersuchung spielt in der Diagnostik von Fesselträgererkrankungen eine untergeordnete Rolle. Sie dient in erster Linie dazu, andere Pathologien, wie z.B. Avulsionsfrakturen oder arthrotische Veränderungen, auszuschliessen (LISCHER et al., 2006a). Mögliche Befunde sind eine verstärkte Sklerosierung der Trabekel am proximalen Metakarpus/Metatarsus, eine neue Anordnung der Trabekelstruktur, sowie Entheseophytenbildung (DYSON, 1991; DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a). Bei der Diagnostik von Fesselträgerverletzungen spielt je länger je mehr auch das MRI eine wichtige Rolle. Dieses ist besonders hilfreich bei unklaren Ultraschallbefunden sowie bei chronischen Fällen (BISCHOFBERGER et al., 2006; SCHULZE und BUDRAS, 2008; SCHRAMME et al., 2012).

Die wichtigsten therapeutischen Massnahmen bei akuten Verletzungen des Fesselträgerursprungs sind Boxenruhe, gefolgt von langsamer, kontrollierter Bewegung. Eine Rückkehr in den Sport sollte frühestens nach drei (DYSON und GENOVESE, 2003) bis sechs Monaten (LISCHER et al., 2006a) stattfinden. Ein zu früher Einsatz resultiert fast immer in einem Rezidiv. Zusätzlich wird die Gabe von NSAIDs empfohlen und auch lokale Umschläge mit Dimethylsulfoxid (DMSO) können helfen (DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a). Bei chronischen und therapieresistenten Fällen kann eine extrakorporale Stosswellentherapie versucht werden, welche bei einigen Pferden eine Besserung zu erzielen scheint (LÖFFELD et al., 2002; DYSON und GENOVESE, 2003). Lischer et al. (2006b) konnte mit diesem Verfahren jedoch nur Erfolge erzielen, wenn die Vordergliedmasse betroffen war. Bei der Hintergliedmasse wurde trotz Stosswellentherapie eine hohe Rezidivrate festgestellt. Weitere beschriebene Therapiemassnahmen sind intraläsionale Injektionen mit Kortikosteroiden, Glykosaminoglykanen, einem Gemisch aus Mandelöl, sowie weiteren Substanzen (DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a). Neuere Therapieansätze zielen auf die intraläsionale Injektion von Stammzellen. Von Vandenberghe et al. (2015) gibt es einen Fallbericht über ein Dressurpferd mit chronischer Insertionsdesmopathie des Fesselträgerursprungs an der Vordergliedmasse, welches erfolgreich mit tenogen induzierten, allogenen, mesenchymalen Stammzellen behandelt wurde. Als letzte Therapiemassnahme kann schlussendlich noch eine Neurektomie der den Fesselträger innervierenden Nerven in Betracht gezogen werden (DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a).

Die Prognose bei Verletzungen des Fesselträgerursprungs ist abhängig davon, wie gut die Tiere auf die konservative Therapie ansprechen. Das Vorhandensein von radiologischen Veränderungen, sowie das Bestehenbleiben von sonographischen Veränderungen stellen

prognostisch negative Faktoren dar (DYSON, 1991). Ist der Fesselträgerursprung der Hintergliedmasse betroffen, sollte die Prognose stets vorsichtig gestellt werden. Betroffene Tiere erholen sich meist nur sehr langsam und erleiden häufig Rezidive (DYSON und GENOVESE, 2003; LISCHER et al., 2006a). Schulze und Budras (2008) scheinen dafür eine Erklärung gefunden zu haben. Durch histologische, magnetresonanztomographische und computertomographische Untersuchungen des Fesselträgers der Hintergliedmasse, konnten sie eine lange, proximale Ursprungssehne des M. interosseus medius identifizieren. Diese entspringt am Calcaneus, sowie am Lig. plantare longum, zieht über das mediale Viertel des vierten Tarsalknochens und fusioniert am proximalen Röhreinende mit der lateralen, kurzen Ursprungssehne. Bei der Beugung des Sprunggelenks könnte die lange Ursprungssehne somit einen Scheiteldruck auf die kurze, laterale Ursprungssehne ausüben, was beim Vorliegen einer Insertionsdesmopathie am Fesselträgerursprung eine Schmerzreaktion mit verzögerter Heilungstendenz verursachen könnte (SCHULZE und BUDRAS, 2008).

Verletzungen des Fesselträgerkörpers sind typische Verletzungen bei Rennpferden, wobei Pferde, welche Hindernisrennen bestreiten häufiger betroffen sind als solche, die für Flachrennen eingesetzt werden. Englische Vollblüter, welche Galopprennen bestreiten, verletzen sich typischerweise an den Vordergliedmassen, während bei Trabrennpferden sowohl die Vorder- als auch die Hintergliedmassen, häufig sogar mehrere Gliedmassen gleichzeitig, betroffen sein können. Klinisch zeigen die Tiere Lahmheit unterschiedlichen Ausmasses, lokal kann ein Ödem, vermehrte Wärme, sowie Palpationsschmerz auftreten. (DYSON und GENOVESE, 2003).

Die Diagnose wird anhand der klinischen Symptome und mit Hilfe von Ultraschall gestellt. Auch hier sind die Ultraschallbefunde vorsichtig zu beurteilen und sollten stets mit der kontralateralen Gliedmasse verglichen werden. Sonographische Befunde können eine Verdickung des Körpers, schwer definierbare Ränder, fokale hypoechogene Areale, sowie eine diffuse Reduktion der Echogenität sein. Bei chronischen Veränderungen können auch fokale hyperechoische Bereiche sichtbar sein (DYSON und GENOVESE, 2003).

Therapeutisch werden NSAIDs verabreicht, sowie lokal oder systemisch Glukokortikoide. Die Bewegung muss anfangs stark eingeschränkt werden und sollte nur langsam gesteigert werden, abhängig davon, wie schnell sich das sonographische Bild verbessert. Zusätzlich kön-

nen weitere Massnahmen wie tägliche Hydrotherapie, Massagen oder Umschläge mit DMSO hilfreich sein (DYSON und GENOVESE, 2003).

Das Risiko für Rezidive ist bei Verletzungen des Fesselträgerkörpers, besonders bei Rennpferden, gross. Trabrennpferde haben in Bezug auf ihre Nutzung die etwas bessere Prognose, betroffene Galopprennpferde werden selten völlig lahmheitsfrei. Pferde mit milden Läsionen können unter Umständen zwar gut auf symptomatische Therapie ansprechen und weiter im Sport eingesetzt werden, die Läsionen verhalten sich jedoch meist progressiv. Somit ist stets das Risiko eines kompletten Niederbruchs des Fesselträgers vorhanden (DYSON und GENOVESE, 2003).

Verletzungen der Fesselträgerschenkel kommen sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmasse bei zahlreichen Pferderassen vor und sind häufig assoziiert mit Huffehlstellungen (DYSON und GENOVESE, 2003; SHIKH ALSOOK et al., 2013). Auch sind sie ein wichtiger Grund für Abgänge bei englischen Vollblutrennpferden (McLELLAN und PLEVIN, 2013). Bei einigen Pferden mit akuter Erkrankung der Fesselträgerschenkel findet man bereits radiologische Veränderungen im Bereich der Griffelbeine oder der Gleichbeine. Dies weist darauf hin, dass hier bereits ein subklinisches Problem vorbesteht (DYSON und GENOVESE, 2003). Diesen Verdacht konnten McLellan und Plevin (2013) weiter erhärten. Anhand einer Studie mit englischen Vollblütern konnte gezeigt werden, dass Tiere, welche mit einjährig im Röntgen bereits Anzeichen einer Sesamoiditis der Gleichbeine aufweisen, ein fünfmal höheres Risiko haben, bei Trainingsbeginn eine Verletzung der Fesselträgerschenkel zu erleiden.

Klinische Befunde sind abhängig vom Schweregrad und vom Alter der Läsion. Meist ist eine schmerzhafte Schwellung ersichtlich und die Pferde zeigen eine unterschiedlich stark ausgeprägte Lahmheit (DYSON und GENOVESE, 2003). Bei der Diagnosestellung ist es wichtig, den ganzen Fesselträger sonographisch zu untersuchen, da sich Läsionen auch auf palpatörisch normal erscheinende Bereiche ausdehnen können. Zusätzlich sollten Röntgenbilder des ipsilateralen Griffel- und Gleichbeines angefertigt werden, um Frakturen auszuschliessen (DYSON und GENOVESE, 2003). Bei der Beurteilung der Ultraschallbefunde ist es wichtig, diese immer im Kontext mit der Klinik zu betrachten. Eine Studie mit sechzig klinisch gesunden englischen Vollblutrennpferden erwies, dass 6.7% der Tiere moderate sonographische Veränderungen im Bereich der Fesselträgerschenkel aufwiesen. Dies zeigt, dass sonographi-

sche Veränderungen nicht immer zwingend mit klinischen Symptomen einhergehen müssen (RAMZAN et al., 2013).

Die Therapie von Verletzungen der Fesselträgerschenkel ist abhängig vom Schweregrad, sowie von der Rasse und des Verwendungszwecks des Pferdes. Bei akuten zentralen „core lesions“ kann ein Sehnensplitting in Betracht gezogen werden. Sind die Läsionen eher peripher oder nicht schön abgegrenzt beschränkt man sich auf eine konservative Therapie. Diese besteht aus Boxenruhe mit langsamer Leistungssteigerung, systemischen NSAIDs, sowie Umschlägen aus Eis und DMSO. Zusätzlich sollte die Hufkonformation und der Beschlag optimiert werden (DYSON und GENOVESE, 2003).

Die Rekonvaleszenz bei Verletzungen der Fesselträgerschenkel beträgt häufig bis zu neun Monaten, Ultraschallveränderungen können bis zu achtzehn Monaten bestehen bleiben. Gerade bei Rennpferden, welche auf hohem Niveau trainieren, ist es jedoch kaum möglich, die Tiere lange genug zu schonen. Eine zu frühe Wiederaufnahme des Trainings führt somit zu einer hohen Rezidivrate und birgt die Gefahr eines akuten, kompletten Niederbruchs des Fesselträgers (DYSON und GENOVESE, 2003).



## **5 Material und Methoden**

### **5.1 Verwendete Tiere**

Für diese Studie wurden von insgesamt sechs Rindern jeweils die rechten Vorder- und Hintergliedmassen untersucht. Alle Tiere waren zwischen zwölf und vierzehn Monate alt, klinisch gesund und hatten regelmässigen Weidegang. Es handelte sich bei vier Tieren um Kreuzungen aus Holstein-Friesian und Mastrassen (Normand und Blauweisse Belgier), zwei Rinder waren Braunvieh. Die Rinder wurden in der Schlachthanlage des Tierspitals Zürich geschlachtet und die Gliedmassen unmittelbar nach der Schlachtung fixiert. Die Vordergliedmassen wurden handbreit oberhalb des Karpus, die Hintergliedmassen handbreit oberhalb des Fersenhöckers abgetrennt.

### **5.2 Fixation der Gliedmassen**

Vor der eigentlichen Fixation musste das restliche Blut aus den Gliedmassen gespült werden. Hierzu wurden Knopfkantülen in die A. mediana der Vordergliedmasse, bzw. die A. tibialis cranialis der Hintergliedmasse eingeführt und mit einer Schnur befestigt. Die Beine wurden in Streckstellung verbracht und mit jeweils einem Liter einer 0.9%-igen Kochsalzlösung mit 4ml Heparin-Natricum mit 5000 i.E. pro ml durch Tropfinfusion gespült. Die Infusionsflaschen wurden in 1.5 Metern Höhe über den Spülkanülen aufgehängt. Im Anschluss wurden die Gliedmassen in der selben Position durch Tropfinfusion mit je einem Liter einer Fixationslösung perfundiert. Diese war ein Gemisch aus 2.5% Glutaraldehyd und 1.3% Formaldehyd. Am Ende der Perfusion war die Fixation des Gewebes bereits als Verhärtung der Weichteile der Gliedmassen palpatorisch festzustellen. Anschliessend wurden die Beine für 24 Stunden bei Raumtemperatur in Streckstellung belassen, damit sich die Fixationslösung im ganzen Gewebe verteilen konnte.

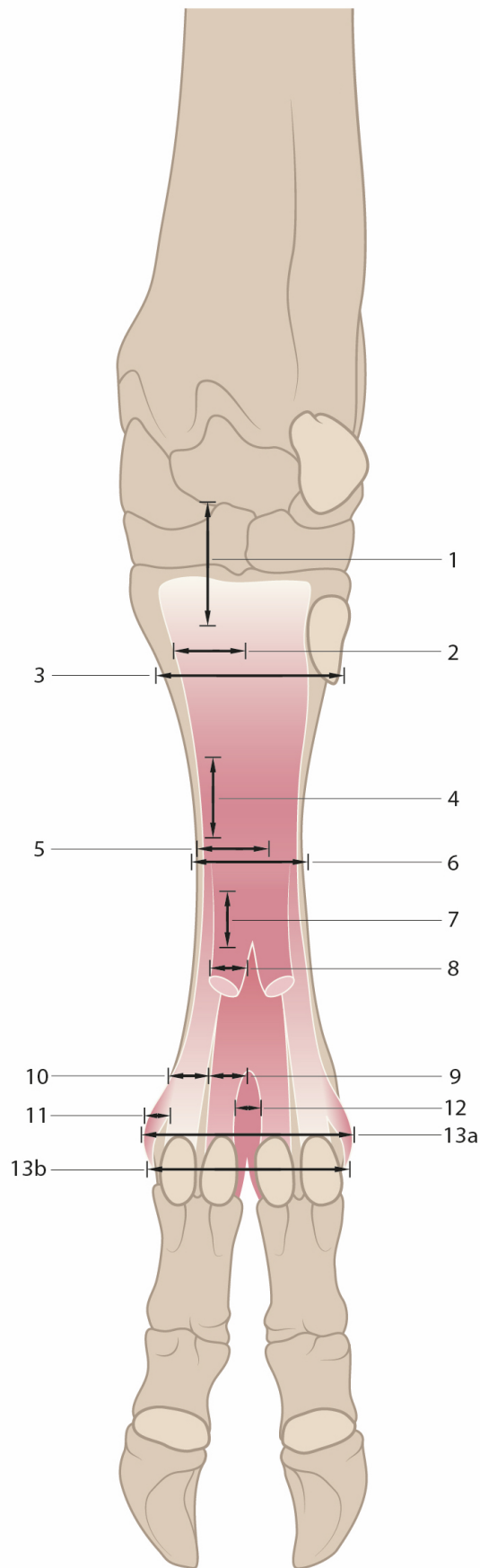
### **5.3 Probenentnahme**

Nach circa 24 Stunden wurde die Haut der Gliedmassen bis circa 1cm proximal des Kronrandes abgezogen und die Proben mit Hilfe von Skalpell und Bandsäge entnommen. Die Probenentnahme geschah an genau definierten Entnahmestellen. Kleine Proben wurden zur

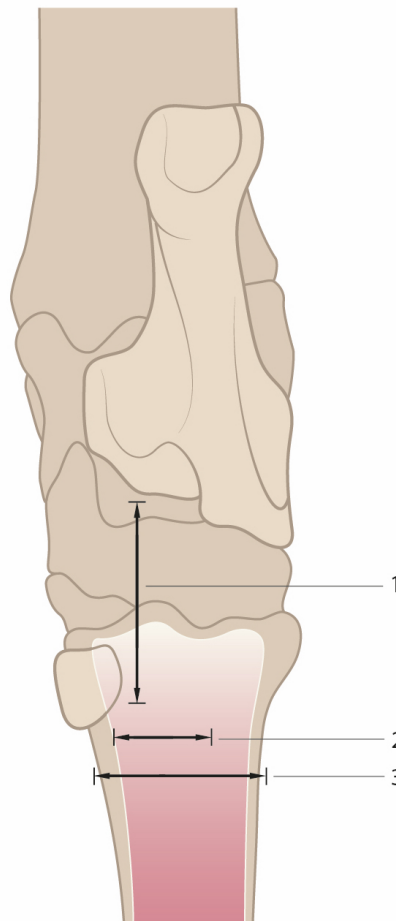
Einbettung in Methylmethacrylat stets medial entnommen, Proben von lateral wurden im Rahmen der Masterarbeit entnommen und in Paraffin eingebettet. Zusätzlich wurden an mehreren Stellen Proben von Querschnitten durch die gesamte Gliedmasse entnommen. Diese Querschnitte wurden dann jeweils in der Mitte des Metakarpus/Metatarsus durchgesägt und nur die palmaren bzw. plantaren Abschnitte weiter verarbeitet. Um sich später besser orientieren zu können, wurden alle Präparate mit Kerben versehen. Alle Querschnitte erhielten an der distalen Seite, die Längsschnitte an der distalen und an der Schnittfläche gegenüberliegenden Seite eine Kerbe. Für eine gute Nachfixation wurden die gewonnenen Proben erneut in dieselbe Fixationslösung mit 2.5% Glutaraldehyd und 1.3% Formaldehyd eingelegt und einige Tage darin belassen.

An folgenden Lokalisationen wurden an den Vorder- und Hintergliedmassen Proben entnommen (Abb.1 und 2):

- 1: Längsschnitt des M. interosseus medius proximal im Ursprungsbereich mit Knochenansatz
- 2: Querschnitt des M. interosseus medius proximal im Ursprungsbereich
- 3: proximaler Querschnitt durch die palmare/plantare Röhrbeinhälfte
- 4: Längsschnitt des M. interosseus medius auf mittlerer Höhe des Röhrbeins
- 5: Querschnitt des M. interosseus medius auf mittlerer Höhe des Röhrbeins
- 6: mittlerer Querschnitt durch die palmare/plantare Röhrbeinhälfte
- 7: Längsschnitt der Verbindungsplatte
- 8: Querschnitt der Verbindungsplatte
- 9: Querschnitt des medialen Seitenschenkels der Mittelplatte
- 10: Querschnitt des medialen Seitenstrangs
- 11: Querschnitt des Unterstützungsastes des medialen Seitenstrangs
- 12: Querschnitt des Interdigitalschenkels der Mittelplatte
- 13a: Querschnitt durch die palmare/plantare Röhrbeinhälfte proximal der Gleichbeine
- 13b: Querschnitt durch die palmare/plantare Röhrbeinhälfte auf Höhe der Gleichbeine



**Abb. 1:** Probenentnahmestellen am Vorder- und Hinterfuss.



**Abb. 2:** Probenentnahmestellen am proximalen Hinterfuss.

Des Weiteren wurden Schnitte von einem acht Monate alten Braunviehrind hergestellt. Dieses wurde aufgrund einer bilateralen Ruptur des M. interosseus medius der Hintergliedmassen euthanasiert. Unmittelbar nach der Euthanasie wurde das linke Hinterbein abgesetzt und sezziert. Es wurden Proben 6-8cm distal des Tarsus, im Bereich der Rupturstelle entnommen. Daraus wurden ausschliesslich Querschnitte hergestellt. Da diese Gliedmasse nicht wie oben beschrieben fixiert wurde, wurden die Proben anschliessend für einige Tage in Formalin verbracht. Die weiteren Schritte erfolgten wie bei den anderen Präparaten.

Im Rahmen der Masterarbeit wurde in einem Vorversuch zusätzlich das rechte Vorderbein einer dreieinhalbjährigen Braunviehkuh untersucht. Die Fixation und Präparation der Gliedmasse bis zur Probenentnahme geschah wie oben beschrieben. An folgenden Lokalisationen wurden, stets auf der lateralen Seite, kleine Proben entnommen:

- Längs- und Querschnitt proximal im Ursprungsbereich des M. interosseus medius
- Längs- und Querschnitt auf mittlerer Höhe des M. interosseus medius
- Querschnitt durch die Verbindungsplatte
- Querschnitt durch den Interdigitalschenkel

Von den entnommenen Gewebeproben wurden ausschliesslich Paraffinschnitte hergestellt. Zum genauen Vorgehen wird auf die Masterarbeit (RICKENBACHER, 2013) verwiesen.

## **5.4 Herstellen der Methylnmethacrylat (MMA)-Schnitte**

### **5.4.1 Entwässern und Einbetten der Proben**

Nach dem Entfernen aus der Fixationslösung wurden die Proben für mehrere Stunden unter fliessendem Wasser gespült. Anschliessend wurden die Proben in einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert, danach entfettet, infiltriert und eingebettet in Methylnmethacrylat (MMA).

#### Dehydratation:

Bei Raumtemperatur

- Dreimal in 50% Ethanol für jeweils mehrere Tage
- Zweimal in 70% Ethanol für jeweils mehrere Tage
- Zweimal in 80% Ethanol für jeweils mehrere Tage
- Einmal in 90% Ethanol für mehrere Tage
- Einmal in 96% Ethanol für mehrere Tage
- Viermal in 100% Ethanol für jeweils mehrere Tage

Die alkoholischen Lösungen wurden im entsprechenden Verhältnis aus 100%igem Ethanol (Ethanol KA, Kantonsapotheke Zürich) und entionisiertem Wasser hergestellt.

#### Entfettung durch Intermedium:

Bei Raumtemperatur und gezogenem Vakuum

- Zweimal in Xylol (Xylol KA, Kantonsapotheke Zürich) für jeweils mehrere Tage

#### Infiltration mit MMA-Lösung:

Für mehrere Wochen in gezogenem Vakuum und bei 4°C, um eine Polymerisation zu vermeiden.

Zusammensetzung der MMA-Lösung (pro 100ml): 89g MMA (FLUKA Chemie, Buchs), 10g Dibutylphthalat (Plasticiser) (FLUKA Chemie, Buchs), 0.5g Perkadox 16 (Aktivator) (GROGG Chemie, Stetten).

#### Einbettung:

Die Proben wurden mit MMA-Lösung übergossen und die Probengefässe danach luftdicht verschlossen. Während den ersten Tagen wurden die Probengefässe im Wasserbad bei 20-25°C gekühlt, um eine Blasenbildung durch Überhitzung zu vermeiden. Nach vollständiger Polymerisation, welche in der Regel etwa drei Wochen dauerte, konnten die MMA-Blöcke aus den Probengefässen entfernt werden.

### **5.4.2 Sägen, Kleben**

Die ausgehärteten Probenblöcke wurden auf einen Sockel geklebt, welcher in die Haltevorrichtung der Säge eingespannt wurde. Die grossen Schnitte wurden mit einer Bandsäge mit Diamant-beschichtetem Sägeblatt gesägt (Exakt Trennschleifsystem Typ 3031 CP/N), die kleinen Schnitte mit der Exakt Diamantbandsäge Typ 300. Bei den grossen Präparaten wurde ein Vortrieb von 2mm gewählt, wodurch im Schnitt circa 1.4mm dicke Schnitte entstanden. Bei den kleineren Präparaten betrug der Vortrieb 1mm und die Schnitte wurden etwa 500-700µm dick. Das Sägen der Schnitte geschah unter Wasserkühlung. Im Anschluss wurden die hergestellten Schnitte mit 70%igem Alkohol gereinigt und danach zum Trocknen für ein bis zwei Tage zwischen Papiertücher gelegt und mit Metallklötzen gepresst. Anschliessend wurden die Schnitte mit Cementit CA-12 (Merz + Benteli AG, Niederwangen) auf 3mm dicke Polyacrylplatten geklebt, beschriftet, mit Alufolie umwickelt und für einige Tage erneut unter Metallklötze gelegt.

### **5.4.3 Fräsen und Polieren**

Vor dem Fräsprozess wurde die genaue Schnittdicke mit der Mikrometerschraube ausgemessen. Die grösseren Schnitte wurden alle auf der Leica Ultrafräse SP 2600 gefräst, wobei die

endgültige Schnittdicke 400-500µm betrug (Tabelle 1). Die kleinen Schnitte wurden teilweise auf der Leica Ultrafräse SP 2600 gefräst (Tabelle 2), einige wurden auch mit dem Mikro Schleifgerät Exakt 400 CS auf die gewünschte Schnittdicke von 250-400µm reduziert. Dabei wurden zuerst 250-350µm mit Schleifpapier 800 Korn und danach 50-200µm mit Schleifpapier 1200 Korn abgetragen. Anschliessend wurden die Schnitte mit Schleifpapier 4000 Korn für fünf Minuten poliert.

**Tabelle 1:** Fräsprotokoll für grosse Schnitte.

Anzahl Wiederholungen	Fräsdicke pro Wiederholung	Umdrehungen pro Minute	Vorlauf
<u>Vorfräser:</u>			
90-100	10 µm	2700	1.5 mm/s
<u>Fertigfräser:</u>			
20	5 µm	2400	1.0 mm/s
5	3 µm	2400	0.8 mm/s
5	2 µm	2000	0.5 mm/s
5	1 µm	2000	0.5 mm/s

**Tabelle 2:** Fräsprotokoll für kleine Schnitte.

Anzahl Wiederholungen	Fräsdicke pro Wiederholung	Umdrehungen pro Minute	Vorlauf
<u>Vorfräser:</u>			
20	10 µm	2700	1.5 mm/s
<u>Fertigfräser:</u>			
20-25	5 µm	2400	1.0 mm/s
5	3 µm	2400	0.8 mm/s
5	2 µm	2000	0.5 mm/s
5	1 µm	2000	0.5 mm/s

In einem letzten Schritt wurden die Präparate mittels Struers LaboPol-5 poliert, um möglichst alle Frässpuren zu entfernen. Zuerst wurde eine Minute mit Struers DP-Lubricant Blue und Struers DP-Suspension P 3µm poliert, danach nochmals eine Minute mit Struers DP-Lubri-

cant Red und Struers DP-Suspension P 1µm. Beide Poliervorgänge geschahen mit einer Umdrehungszahl von 150rpm. Die Schnitte, welche mit dem Mikro Schleifgerät Exakt 400 CS bearbeitet wurden, wurden nicht nochmals poliert.

#### **5.4.4 Färben**

Die angefertigten Schnitte wurden mit der Oberflächenfärbung nach Giemsa eingefärbt. Hierzu wurden die Schnitte zuerst für fünfzehn Minuten in eine Mischung aus 0.5% HCl in 70% Ethanol getaucht, um die Oberfläche anzuätzen. Danach wurden die Schnitte für zehn Minuten unter fließendes Leitungswasser gehalten und anschliessend zweimal mit Aqua destillata gespült. Dann wurden die Schnitte in die Giemsa-Workinglösung getaucht, wo sie fünf bis dreissig Minuten verblieben. Diese grosse Zeitspanne erklärt sich durch die unterschiedliche Farbannahme der verschiedenen Gewebe. Auch färben sich die einzelnen Gewebe unterschiedlich schnell an, je nachdem ob sie längs oder quer geschnitten sind. Die Längsschnitte des Sehnengewebes färben sich viel intensiver an als Querschnitte. Daher wurden Längsschnitte fünf bis zehn Minuten, die Querschnitte zwanzig bis dreissig Minuten nach Giemsa gefärbt. Zum Schluss wurden die Schnitte erneut in Aqua destillata mehrmals gespült.

Zur Herstellung der Workinglösung wurde die Stockfärbung 1:4 mit Phosphatpuffer (1 Puffertablette pH 7.2 mit 1000ml A. dest.) verdünnt.

### **5.5 Auswertung**

Die Beurteilung der Präparate erfolge unter dem Lichtmikroskop (Leica DM LB) sowie unter dem Stereomikroskop (Leica MZ16). Beide waren mit einer Digitalkamera (Leica DC480) ausgestattet. Alle Schnitte wurden auf ihren Gehalt an Muskulatur, deren Verteilung und Faserverlauf untersucht. Ebenfalls wurde der Gehalt und die Verteilung von Sehnengewebe, Gefässen, Nerven und Fettgewebe ermittelt. Der prozentuale Anteil an Muskulatur wurde grob geschätzt, bei zwölf ausgewählten Schnitten wurde der Anteil an Muskulatur mittels eines Punktzählverfahrens genauer ausgewertet. Bei den zwölf Schnitten handelte es sich stets um Querschnitte des ganzen Beines auf Höhe der Mitte des Metakarpus/Metatarsus. Zuerst wurde mit der ins Stereomikroskop integrierten Kamera (Leica DC480) Übersichtsaufnahmen angefertigt. Mittels dem Computerprogramm Leica IM 1000 Image Manager wurde dann zuerst der gesamte M. interosseus medius und danach die muskulären Anteile umfahren und



dadurch der prozentuale Anteil der Muskulatur semiquantitativ bestimmt. In einem weiteren Schritt wurde der muskuläre Anteil im Punktzählverfahren genauer untersucht. Dies geschah mit Hilfe des Computerprogrammes „Analysis“. Über das Bild wurde ein Raster gelegt und bei jedem Kreuzpunkt das Gewebe bestimmt. Insgesamt wurden so pro Präparat zwischen 1300 und 2000 Punkte ausgewertet. Somit konnte der semiquantitative Muskelanteil genauer unterteilt werden in Muskulatur, Bindegewebe, Gefässe, Nervengewebe und Fettgewebe.

## **5.6 Herstellung der Ultraschallbilder**

Alle für die Arbeit verwendeten Rinder befanden sich vor der Schlachtung für zwei bis drei Wochen am Tierspital Zürich. Während jeweils einer Woche erfolgten an jedem Tier tägliche Ultraschalluntersuchungen des M. interosseus medius, wobei sich die Untersuchungen auf die linke Vorder- und Hintergliedmasse beschränkte. Alle Ultraschalluntersuchungen wurden von Frau Jasmin Boppart im Rahmen ihrer Masterarbeit und weiterführenden Studien durchgeführt. Zur genauen Methodik wird auf ihre Masterarbeit verwiesen (Boppart, 2013).

Im Rahmen dieser Arbeit werden ausgewählte Bilder des jeweiligen linken Beines den histologischen Schnittbildern des rechten Beines gegenüber gestellt, um die Strukturen der Sonographie durch die Histologie zu erklären.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Histologische Befunde an der Vordergliedmasse

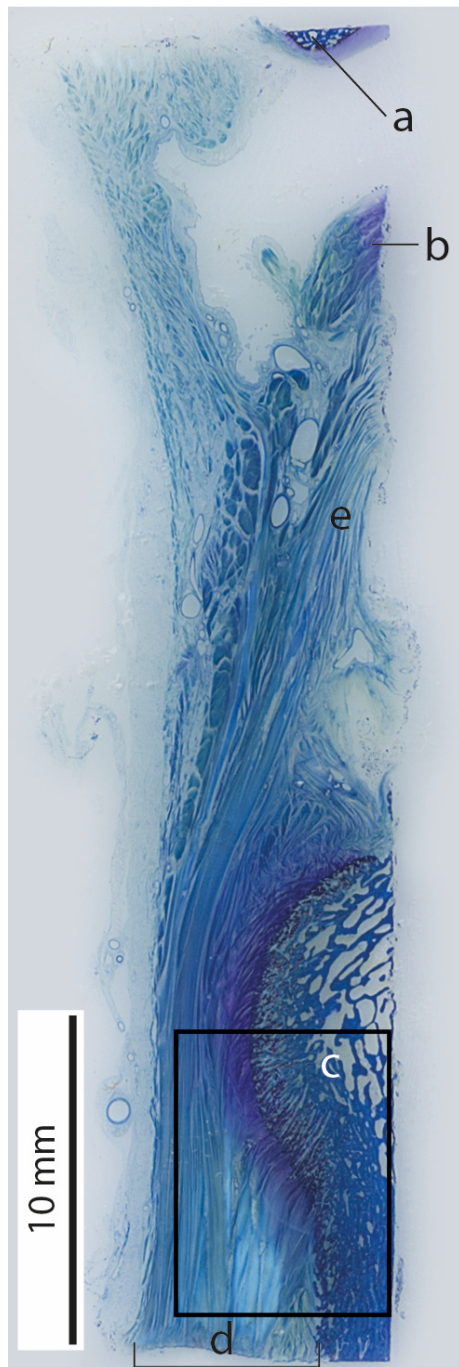
#### 6.1.1 proximal im Ursprungsbereich (Position 1 und 2, Abb. 1)

Auf dieser Ebene wurden Längsschnitte palmar am Karpus und proximalen Metakarpus hergestellt. Die Längsschnitte wurden medial auf Höhe der proximalen Karpalreihe bis circa 1.5cm distal des Karpo-Metakarpalgelenks entnommen. Die Querschnitte durch den M. interosseus medius alleine wurden unmittelbar darunter entnommen.

Die meisten Sehnenfasern des M. interosseus medius entspringen am proximalen palmaren Metakarpus. Zusätzlich sieht man auch Fasern, welche zur distalen und proximalen Karpalreihe ziehen (Abb. 3 und 4). Diese verbinden sich mit Fasern aus den palmaren Karpalbändern, wobei die genaue Abgrenzung teilweise schwierig ist. In zwei von sechs Präparaten ist ganz nahe am Ursprung schon Muskulatur zu erkennen. In einem Präparat verlaufen die Muskelfasern schräg und längs und sind relativ zahlreich. Im anderen Präparat sind nur ganz vereinzelt quer getroffene Muskelfasern vorhanden.

Im Querschnitt ist bei fünf von sechs Präparaten Muskulatur nachweisbar. Die Fasern sind stets quer getroffen und relativ dicht angeordnet, wobei der Anteil auf 20 bis 40% geschätzt wird. Meist sind ein bis drei Inseln aus Muskulatur vorhanden, eingebettet in quer geschnittene Sehnenfasern. Im Bereich dieser Muskelinseln sind vermehrt kleine Gefässe und Nerven anzutreffen, sowie vereinzelt Bereiche mit Fettzellen. Das Sehnengewebe ist relativ dicht angeordnet, durchzogen von dünnen Bindegewebssepten, dem Peritendineum internum. Dieses beherbergt ebenfalls viele kleine Gefässe. Am lateralen Rand der Präparate sind zumeist mehrere grössere Gefässe vorhanden, eingebettet in Fettgewebe.

Im Ultraschallbild (Abb. 5) sind die Karpalbänder, sowie der Ursprungsbereich des M. interosseus medius und die Beugesehnen im Sagittalschnitt zu erkennen, besonders am M. interosseus medius aber weniger detailliert als im histologischen Längsschnitt.

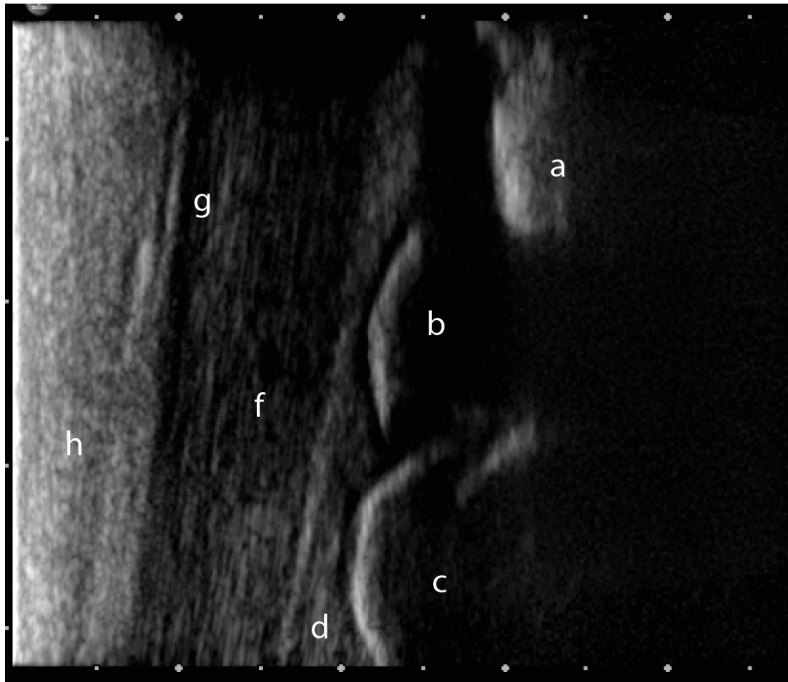


**Abb. 3:** Histologisches Präparat vom Ursprungsgebiet des M. interosseus medius. Längsschnitt, rechtes Vorderbein (Position 1). Giemsa-Färbung



**Abb. 4:** Ausschnitt von Abb.3.

**a** Os carpi intermedium (proximale Karpalreihe), **b** Os carpale II et III (distale Karpalreihe), **c** Os metacarpale III et IV, **d** M. interosseus medius, **e** von der distalen Karpalreihe entspringende Sehnenfasern des M. interosseus medius, **f** Gefäße



**Abb. 5:** Ultraschallbild vom Ursprungsbereich des M. interosseus medius. Sagittalschnitt von palmar, linkes Vorderbein. (Boppart, 2013)

**a** Os carpi intermedium (proximale Karpalreihe), **b** Os carpale II et III (distale Karpalreihe), **c** Os metacarpale III et IV, **d** M. interosseus medius, **f** tiefe Beugesehne, **g** oberflächliche Beugesehne, **h** Haut und Unterhaut

### 6.1.2 Proximaler Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte (Position 3, Abb. 1)

An dieser Lokalisation wurden Proben am palmaren Vorderfuss entnommen, circa 3-4cm distal des Karpo-Metakarpalgelenks (Abb. 6 und 7).

Der M. interosseus medius enthält in allen Präparaten Muskulatur, wobei der Anteil auf 30-50% geschätzt wird. Die Muskelfasern sind stets quer getroffen und durchziehen das ebenfalls quer getroffene Sehnengewebe teils U-förmig, teils mäanderförmig. Im Bereich der Muskulatur trifft man vermehrt auf kleine Blutgefäße. Gegen den medialen und lateralen Rand hin ist die Anordnung der Muskelfasern tendenziell etwas weniger dicht. Angrenzend an Muskelseln ist stets auch wenig Fettgewebe anzutreffen, dies vor allem im Bereich, wo sich weiter distal die Verbindungsplatte abspaltet. Eingebettet in dieses Fettgewebe sind vermehrt Blutgefäße und kleine Nervenfaserbündel erkennbar.

Das Sehngewebe im Bereich des M. interosseus medius ist sehr dicht angeordnet und durchzogen von feinen Bindegewebssepten, dem Peritendineum internum. In diesen Septen finden sich auch vereinzelt kleinste Gefässe, welche zumeist auch quer geschnitten sind.

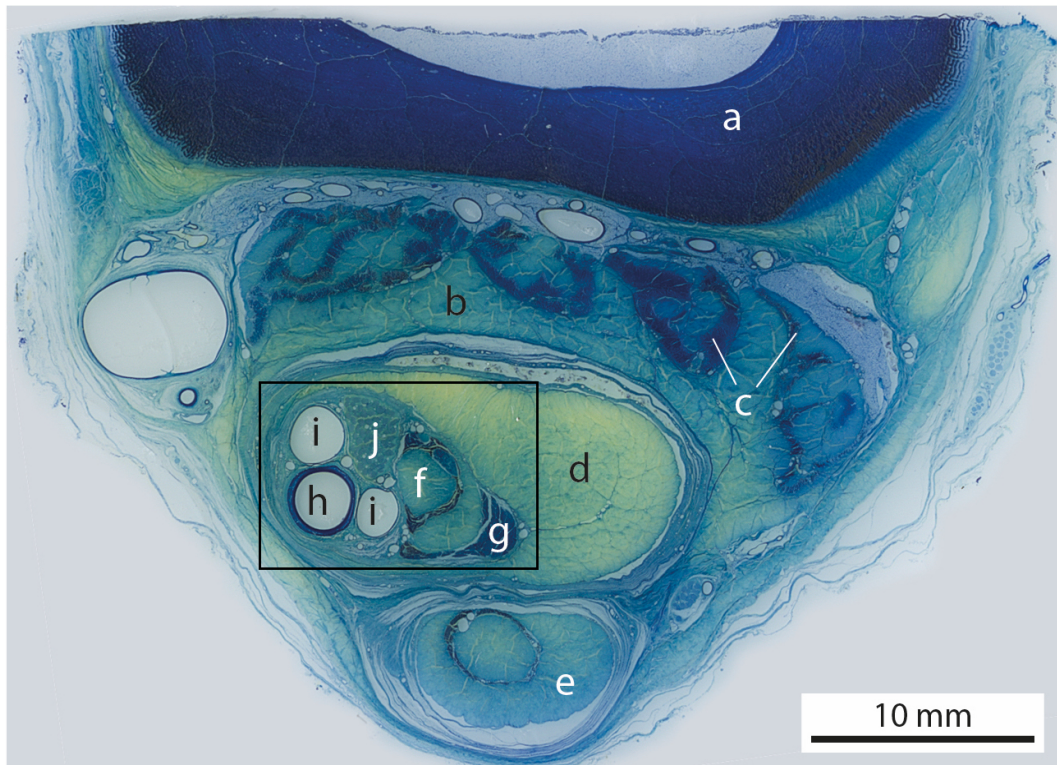
Dorsal grenzt der M. interosseus medius an das Os metacarpale III et IV, dazwischen befindet sich jedoch noch ein relativ grosser Bereich mit Fettgewebe. Darin sind mehrere grössere Gefässe und vereinzelt kleinere Nerven eingebettet. Lateral des Mc III+IV ist bei einigen Präparaten das rudimentäre Mc V erkennbar. In der Markhöhle des Mc III+IV sieht man bei einigen Präparaten eine knöcherne Scheidewand. Dies als Zeichen für die unvollständige Verschmelzung der beiden Metakarpalknochen.

Gut zu erkennen ist die Gliederung der oberflächlichen Beugesehne in ihren oberflächlichen und tiefen Bauch, wobei beide Bäuche in allen Schnitten quer geschnittene Muskelfasern enthalten. Der oberflächliche Bauch enthält nur im Zentrum kleine Mengen Muskulatur, im Bereich des tiefen Bauches ist der Anteil etwas grösser. Die tiefe Beugesehne ist stets frei von Muskelfasern und flankiert den tiefen Bauch der oberflächlichen Beugesehne. Dazwischen ist eine beträchtliche Menge quer geschnittener Muskelfasern zu erkennen, welche als M. interflexorius angesprochen werden können.

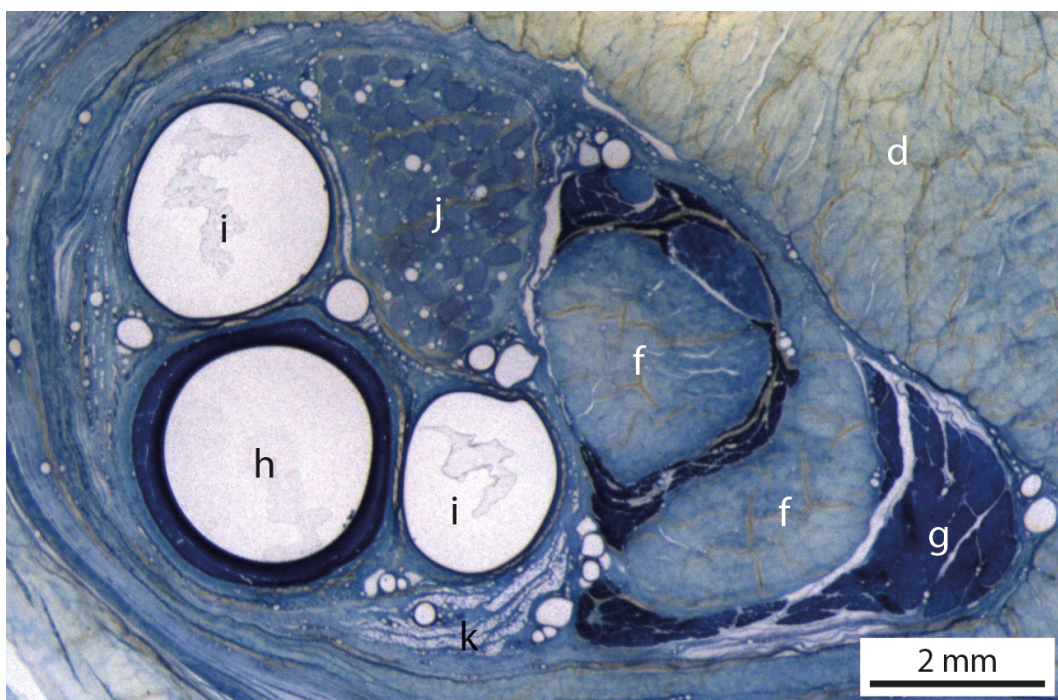
Medial angrenzend an den tiefen Bauch der oberflächlichen Beugesehne sind gut die A. mediana, die V. mediana (zweigeteilt), sowie der N. medianus zu erkennen. Diese Leitstrukturen verlaufen zusammen mit der tiefen Beugesehne und dem tiefen Bauch der oberflächlichen Beugesehne durch den Karpalkanal. Am medialen Rand auf Höhe des M. interosseus medius sind ebenfalls mehrere Gefässe erkennbar.

Im Ultraschall sind im Transversalschnitt schon deutlich die Muskelanteile des M. interosseus medius als weniger echodichte Areale zu sehen (Abb. 8).



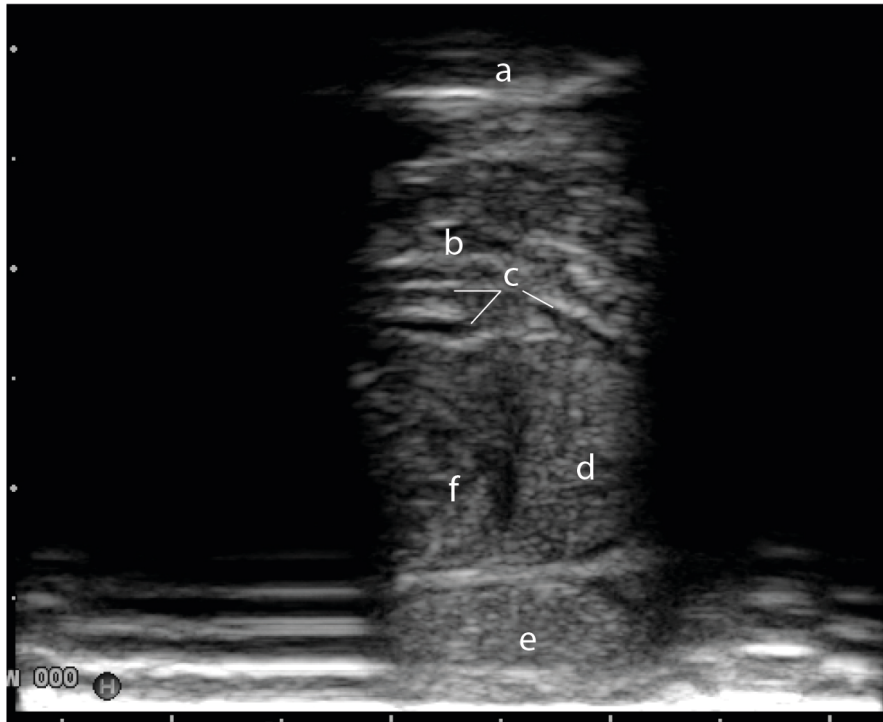


**Abb. 6:** Histologisches Präparat vom proximalen Querschnitt durch den palmaren Teil des rechten Vorderfusses (Position 3). Giemsa-Färbung.



**Abb. 7:** Ausschnitt von Abb. 6.

**a** Os metacarpale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** tiefe Beugesehne, **e** oberflächlicher Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **f** tiefer Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **g** M. interflexorius, **h** A. mediana (Hauptmittelfussarterie), **i** V. mediana, zweigeteilt, **j** N. medianus, **k** Fettgewebe



**Abb. 8:**  
Ultraschallbild vom  
proximalen Teil des  
Metakarpus.  
Transversalschnitt  
von palmar, linkes  
Vorderbein. (Boppart,  
2013).

**a** Os metacarpale III et IV, **b** M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** tiefe Beugesehne, **e** oberflächlicher Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **f** tiefer Bauch der oberflächlichen Beugesehne

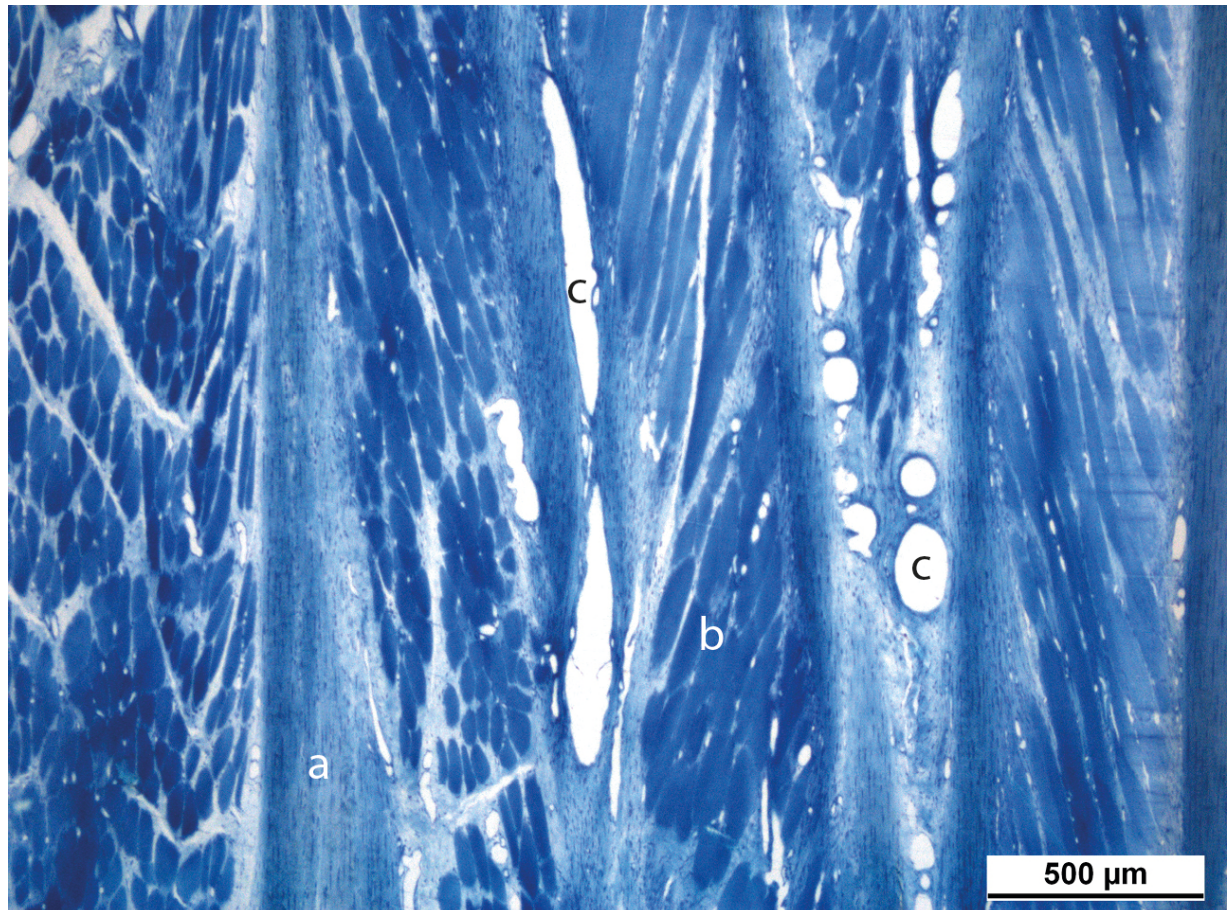
### 6.1.3 Mitte Metakarpus (Position 4 und 5, Abb. 1)

Im Längsschnitt lässt sich in allen sechs Präparaten grössere Mengen Muskulatur nachweisen (Abb. 9). Ihr Anteil beträgt zwischen 30 und 90%, und der Faserverlauf ist in allen Präparaten sehr ähnlich. Die Fasern verlaufen sowohl quer, längs, als auch schräg und haben eine fischgrätähnliche Anordnung. Teilweise durchziehen dünne Stränge von Sehnengewebe die Muskulatur. Die Sehnenfasern verlaufen stets längs oder schräg, sind relativ dicht angeordnet und nur mit sehr wenigen kleinen Gefässen durchzogen. Viele kleine und grössere Gefässe sind im Bereich der Muskulatur und an diese angrenzend zu erkennen. Die grösseren Gefässe sind meist umgeben von etwas Fettgewebe. In allen sechs Präparaten sind keine grösseren Nervenfaserbündel zu erkennen.

Auch im Querschnitt lässt sich in allen Schnitten Muskulatur nachweisen und der Anteil beträgt geschätzt zwischen 15 und 50%. Die Muskelfasern sind stets quer geschnitten und



mäanderförmig angeordnet, umgeben von ebenfalls quer verlaufenden Sehnenfasern. Die Muskelzellen sind relativ dicht angeordnet, durchzogen von Bindegewebssepten, welche viele kleine Gefäße und Nerven umgeben. Im Bereich des Sehngewebes sind nur vereinzelt kleine Gefäße erkennbar. Fettzellen sind kaum vorhanden, nur in zwei Präparaten sind im palmaren Bereich des Schnittes Inseln aus Fettzellen anzutreffen.



**Abb. 9:** Histologisches Präparat vom M. interosseus medius auf mittlerer Höhe des Metakarpus. Längsschnitt, rechtes Vorderbein (Position 4). Giemsa-Färbung.

**a** Sehnenfasern, **b** Muskelfasern, **c** Gefäße



#### 6.1.4 Mittlerer Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte (Position 6, Abb. 1)

Auf Höhe dieser Querschnitte hat sich der M. interosseus medius bereits aufgeteilt in seine Mittelplatte und Verbindungsplatte, teilweise haben sich die Seitenstränge auch schon separiert. Im Bereich der Mittelplatte und der Seitenstränge lässt sich in allen Präparaten quer geschnittene Muskulatur nachweisen, wobei ihr Anteil semiquantitativ und quantitativ gemessen wurde (Abb. 10 und 11).

Semiquantitativ gemessen, enthalten die Präparate zwischen 13 und 50% Muskulatur, der Mittelwert beträgt 33% und die Standardabweichung 14%.

Im Punktzählverfahren wurde der Bereich der Muskulatur noch genauer untersucht. Dabei wurde der Anteil des Muskelgewebes, des Bindegewebes, der Blutgefäße und Nerven, sowie von allfälligem Fettgewebe erfasst. Die Bereiche, welche Muskulatur enthalten setzen sich wie folgt zusammen:

**Tabelle 3:** Gewebezusammensetzung der muskulären Areale des M. interosseus medius.

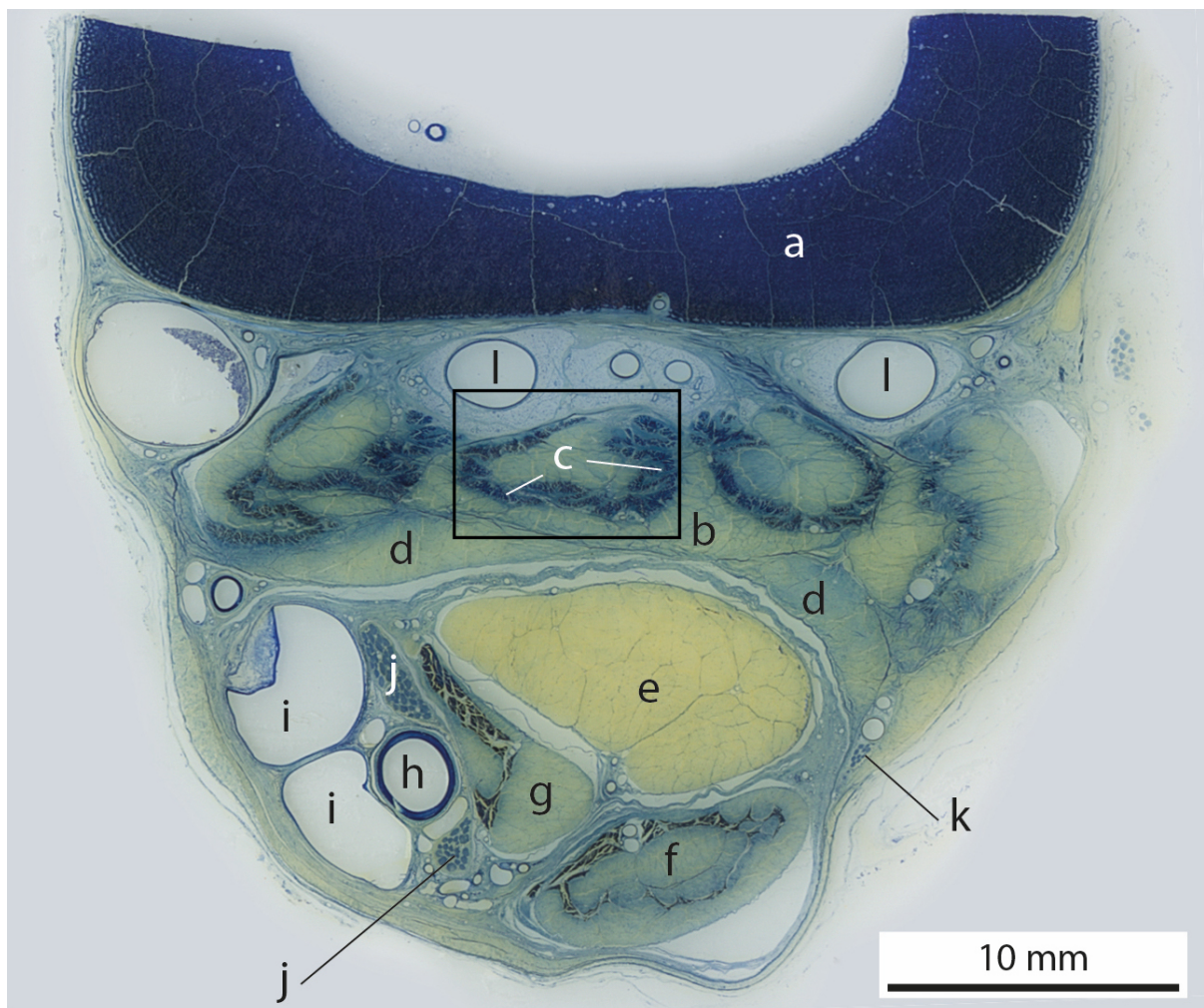
Gewebeart	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
Muskulatur	61.9%	52.3%	70%	6.8%
Lockeres Bindegewebe	31.2%	25%	40.6%	6.2%
Blutgefäße	5.8%	3.7%	7.4%	1.2%
Nerven	1.1%	0.3%	1.6%	0.5%
Fettgewebe	0%	0%	0%	0%

Die Verteilung der Muskelfasern innerhalb des M. interosseus medius zeigt eine gewisse Symmetrie. Ihre Anordnung ist U- oder schlauchförmig, bei stärkerer Vergrößerung sieht man aber nach wie vor ein mäanderförmiges Muster. Fettgewebe befand sich, wenn überhaupt, nur neben der Muskulatur und dann in sehr kleiner Menge.

Im Bereich der Verbindungsplatte ist in keinem Präparat Muskulatur auffindbar. Teilweise hat sie sich auf dieser Ebene auch schon weitgehend zweigeteilt, wobei die beiden Stränge noch durch horizontal verlaufende Sehnenfasern verbunden sind. Im Bereich zwischen Mittelplatte und Verbindungsplatte befinden sich teils relativ viel Fettgewebe, lockeres Bindegewebe und darin eingebettet mehrere kleinere Gefäße.

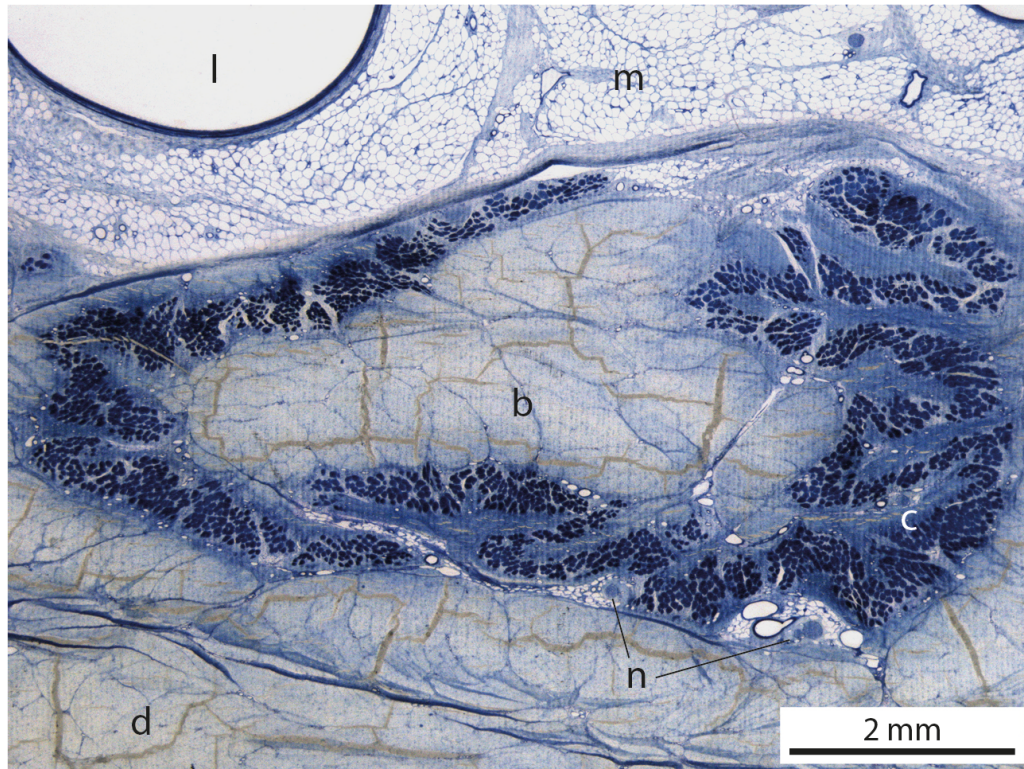
Auch zwischen der Mittelplatte und, wo bereits separiert, den Seitensträngen befinden sich grössere Mengen Fett und Blutgefässe.

Dorsal zwischen dem M. interosseus medius und dem Os metacarpale III et IV zeigt sich ein ähnliches Bild wie im proximalen Querschnitt, mit viel Fettgewebe und darin eingebetteten grösseren Blutgefässen. Auch die knöcherne Scheidewand in der Markhöhle des Mc III+IV ist in einigen Schnitten zu erkennen.

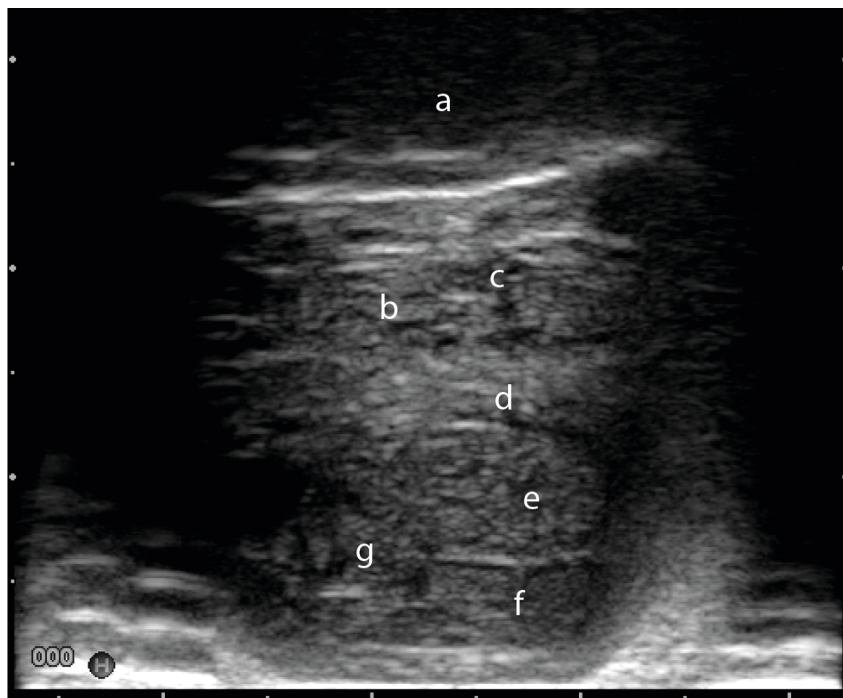


**Abb. 10:** Histologisches Präparat vom mittleren Querschnitt durch den palmaren Teil des rechten Vorderfusses (Position 6). Giemsa-Färbung.

**a** Os metacarpale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** Verbindungsplatte, **e** tiefe Beugesehne, **f** oberflächlicher Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **g** tiefer Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **h** A. mediana (Hauptmittelfussarterie), **i** V. mediana, zweigeteilt, **j** Anteile des N. medianus, **k** R. superficialis des R. palmaris N. ulnaris, **l** tiefe Mittelfussgefässe



**Abb. 11:** Ausschnitt von Abb. 10.



**Abb. 12:** Ultraschallbild vom Metakarpus auf mittlerer Höhe. Transversalschnitt von palmar, linkes Vorderbein. (Boppart, 2013).

**a** Os metacarpale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** Verbindungsplatte, **e** tiefe Beugesehne, **f** oberflächlicher Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **g** tiefer Bauch der oberflächlichen Beugesehne, **l** tiefe Mittelfussgefäße, **m** Fettgewebe, **n** Anteile des R. profundus vom R. palmaris des N. ulnaris



Die oberflächliche Beugesehne ist auf dieser Ebene nach wie vor zweigeteilt, ihre beiden Bäuche sind jedoch schon deutlich näher zusammengedrückt. In ihrem tiefen Bauch kann nur noch in zwei von sechs Schnitten zentral etwas Muskulatur nachgewiesen werden. Im oberflächlichen Bauch findet sich in jedem Präparat noch wenig Muskulatur, dort vor allem in der Peripherie und ringförmig angeordnet. Das Sehnengewebe der oberflächlichen und der tiefen Beugesehne ist sehr dicht, durchzogen vom Peritendineum internum, welches kleinste Blutgefäße beinhaltet.

Medial der Beugesehnen sind nach wie vor die A. und V. mediana, sowie Anteile des N. medianus erkennbar. Lateral auf selber Höhe kann der Ramus superficialis des Ramus palmaris N. ulnaris dargestellt werden.

Die Sonographie zeigt im Transversalschnitt in Mitte des Metakarpus wieder deutlich die hyperechogenen Teile des Sehnengewebes und die hypoechogeneren Teile der Muskulatur im M. interosseus medius, sowie die hyperechogene Verbindungsplatte und die Anteile der Beugesehnen (Abb. 12).

### **6.1.5 Verbindungsplatte (Position 7 und 8, Abb. 1)**

Im Längsschnitt ist bei keinem der sechs Präparate Muskulatur nachweisbar. Die Sehnenfasern sind stets längs geschnitten und sehr straff angeordnet. Es sind weder Nerven noch Fettzellen vorhanden, kleine Gefässe trifft man vereinzelt zwischen den Sehnenfasern an.

Im Querschnitt zeigt sich ein ähnliches Bild. Die dicht angeordneten, quer geschnittenen Sehnenfasern umgeben nur wenige kleine Gefässe. Muskulatur und Fettgewebe sind nicht vorhanden, auch lassen sich keine grösseren Nervenfaserbündel nachweisen.

Zur Struktur der Verbindungsplatte und den wenig proximal des Fesselgelenks angefertigten Schnitten (Positionen 9-12) sei auf die Abb. 8-11 der Masterarbeit von Rickenbacher (2013) verwiesen, um in diesem Rahmen vor allem die topographischen Bilder der Fesselgegend zu zeigen.

6.1.6 – 6.1.9 Die hier angefertigten Schnitte befinden sich wenig proximal des Fesselgelenks (Abb.1).

### **6.1.6 Medialer Seitenschenkel der Mittelplatte (Position 9, Abb. 1)**

Auf dieser Ebene wurden nur Querschnitte hergestellt. In keinem Präparat lässt sich Muskulatur nachweisen. Im medialen Bereich sind die Sehnenfasern grösstenteils quer getroffen und sie umgeben vereinzelt kleine, ebenfalls quer geschnittene Gefässe. Von dorsolateral her verlaufen längs und schräg geschnittene Sehnenfasern, welche in den Bereich der quer geschnittenen Fasern ziehen. Im lateralen Bereich sind die längs verlaufenden Fasern deutlich aufgelockert und wirken verknäuelte. Am medialen Rand sind bei einigen Präparaten grössere Gefässe und Nerven erkennbar.

### **6.1.7 Medialer Seitenstrang (Position 10, Abb. 1)**

Auch von dieser Ebene wurden nur Querschnitte angefertigt. Die Sehnenfasern verlaufen sowohl quer als auch längs und schräg und wirken allgemein deutlich aufgelockert. Im Bereich des Sehnengewebes verlaufen vereinzelt kleine Gefässe, am Rand zeigen sich teilweise grössere Gefässe. Muskulatur ist in keinem Präparat nachweisbar.

### **6.1.8 Unterstützungsast des medialen Seitenstranges (Position 11, Abb. 1)**

Im Querschnitt dieser Präparate sind die Sehnenfasern dicht angeordnet und alle Fasern quer getroffen. Nur vereinzelt durchziehen kleine Gefässe das Sehnengewebe. Es lassen sich weder Fettgewebe, noch grössere Nerven oder Muskulatur nachweisen. Längsschnitte wurden keine hergestellt.

### **6.1.9 Interdigitalschenkel der Mittelplatte (Position 12, Abb. 1)**

Auch im Bereich des Interdigitalschenkels wurden nur Querschnitte hergestellt. Die Sehnenfasern sind sehr dicht angeordnet, kleine Gefässe sind nur ganz wenige vorhanden, Muskulatur fehlt gänzlich.

### **6.1.10 Querschnitt durch die palmare Vorderfushälfte proximal der Gleichbeine (Position 13a, Abb. 1)**

In diesem Querschnitt direkt oberhalb der Gleichbeine können alle Anteile des M. interosseus medius dargestellt werden und alle Anteile sind frei von Muskulatur (Abb. 13 und 14).

Zentral in der Gelenkhöhle präsentiert sich der Interdigitalschenkel, palmar und abaxial davon die beiden Seitenschenkel der Mittelplatte, und auf selber Höhe weiter abaxial die beiden Seitenstränge. Die Sehnenfasern der Seitenschenkel und Seitenstränge sind quer geschnitten, es durchziehen aber auch horizontal verlaufende Fasern das Gewebe. Durch diese horizontalen Sehnenfasern verbinden sich jeweils die medialen bzw. lateralen Seitenschenkel und

Seitenstränge miteinander. Abaxial den Seitensträngen anliegend befinden sich ihre Unterstützungsäste, welche hier in ihrer vollen Dicke getroffen sind. Weiter palmar zeigen sich der mediale und laterale Anteil der Verbindungsplatte. Diese fusionieren mit den jeweiligen Schenkeln der oberflächlichen Beugesehne zur Manica flexoria, welche die entsprechenden Schenkel der tiefen Beugesehne ummantelt.

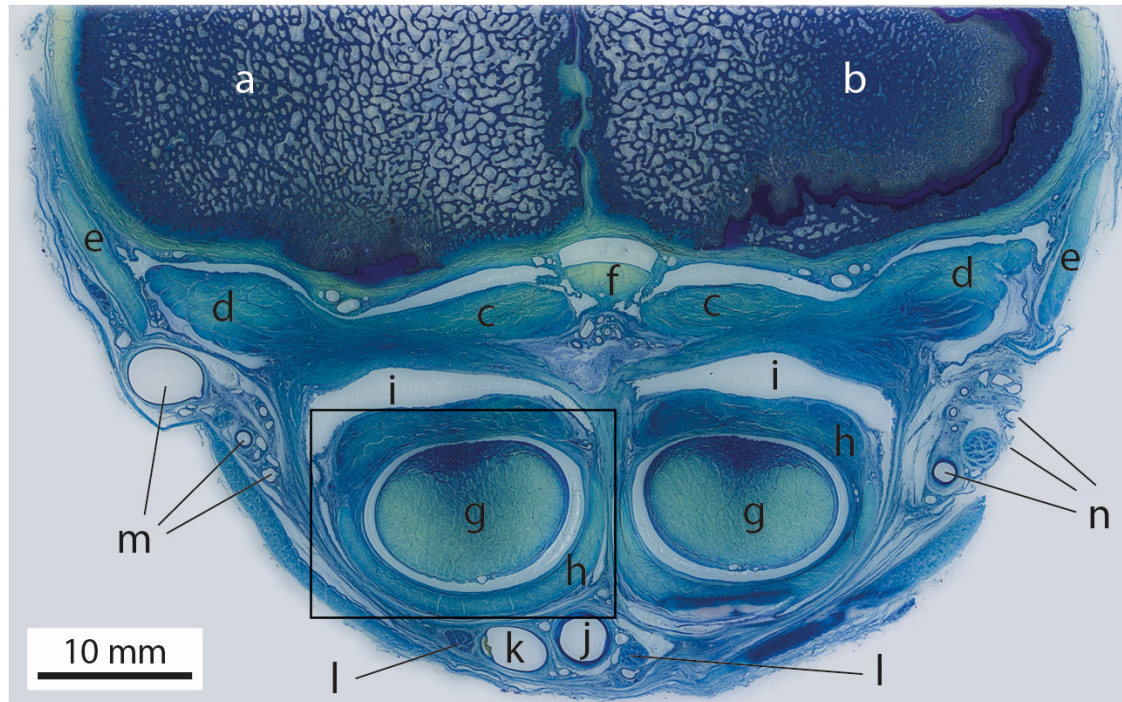
Die Sehnenfasern der tiefen Beugesehnen sind stets quer geschnitten und sehr dicht angeordnet. Von dorsal her ziehen Bindegewebssepten ins Sehnengewebe ein.

Dorsal der beiden Schenkel der tiefen Beugesehne und ihrer Manschetten kann beidseits eine deutliche Aussackung der Fesselbeugesehnenscheide erkannt werden.

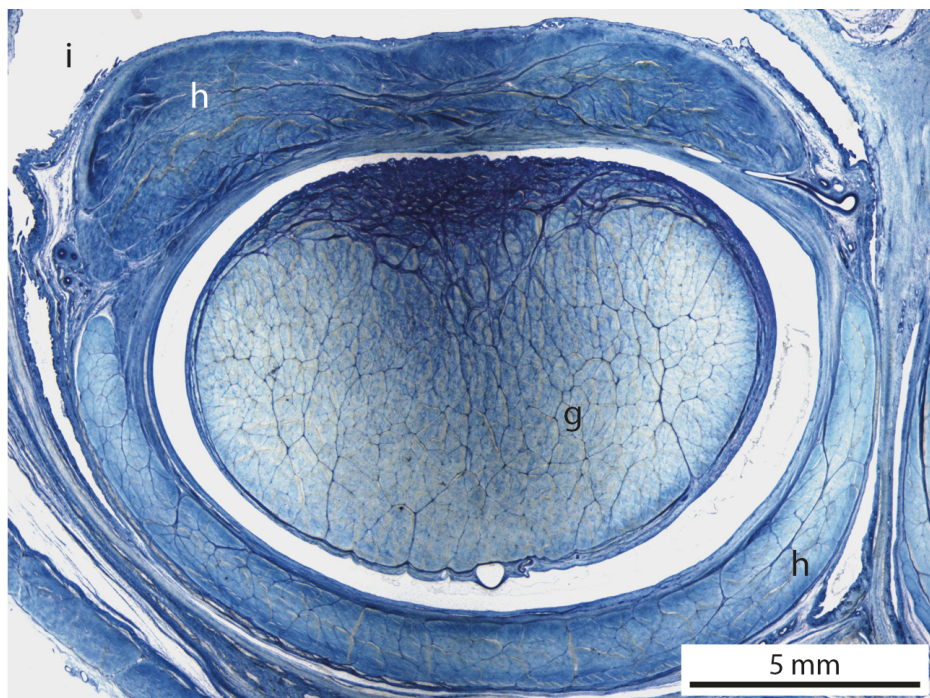
Zentral und palmar des Interdigitalschenkels und der Seitenschenkel befindet sich ein Bereich mit relativ viel Fettgewebe und lockerem Bindegewebe. Darin eingebettet sind zahlreiche kleinere Gefäße.

Axial am palmaren Ende der Präparate zeigen sich die A., V. und N. digitalis palmaris communis III, wobei der Nerv und die Vene jeweils zweigeteilt sind. Medial und lateral auf Höhe der Manica flexoria können die A., V. und N. digitalis palmaris communis II bzw. IV dargestellt werden.

Im Ultraschall sieht man im Transversalschnitt proximal der Gleichbeine die hyperechogenen Seitenschenkel der Mittelplatte des M. interosseus medius, sowie die Manica flexoria, welche die tiefe Beugesehne umgibt (Abb. 15).



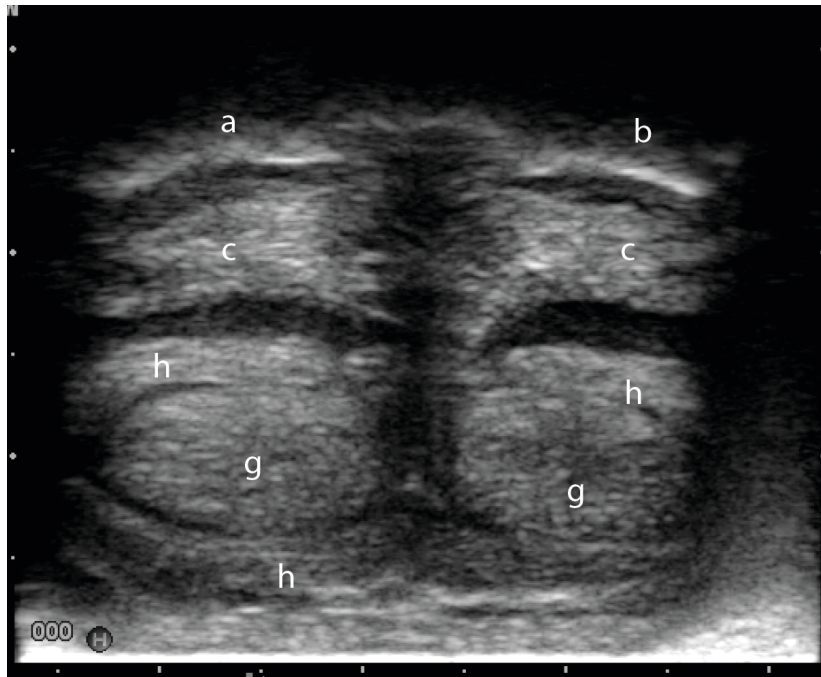
**Abb. 13:** Histologisches Präparat vom distalen Querschnitt durch den palmaren Teil des rechten Vorderfusses, proximal der Gleichbeine (Position 13a). Giemsa-Färbung.



**Abb. 14:** Ausschnitt aus Abb. 13

**a** Os metacarpale III, **b** Os metacarpale IV, **c** Seitenschenkel der Mittelplatte, **d** Seitenstrang, **e** Unterstützungsast des Seitenstrangs, **f** Interdigitalschenkel, **g** tiefe Beugesehne, **h** Manica flexoria aus oberflächlicher Beugesehne und Verbindungsplatte, **i** Aussackung der Fesselbeugesehnenscheide, **j** A. digitalis palmaris communis III (Hauptmittelfussarterie), **k** V digitalis palmaris communis III, meist doppelt ausgebildet, **l** N. digitalis palmaris communis III, meist doppelt ausgebildet, **m** A., V. und N. digitalis palmaris communis II, **n** A., V. und N. digitalis palmaris communis IV





**Abb. 15:** Ultraschallbild vom distalen Teil des Metakarpus, proximal der Gleichbeine. Transversalschnitt von palmar, linkes Vorderbein. (Boppart, 2013).

**a** Os metacarpale III, **b** Os metacarpale IV, **c** Seitenschenkel, **g** tiefe Beugesehne, **h** Manica flexoria aus oberflächlicher Beugesehne und Verbindungsplatte

#### **6.1.11 Querschnitt durch die palmare Vorderfusshälfte auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b, Abb. 1)**

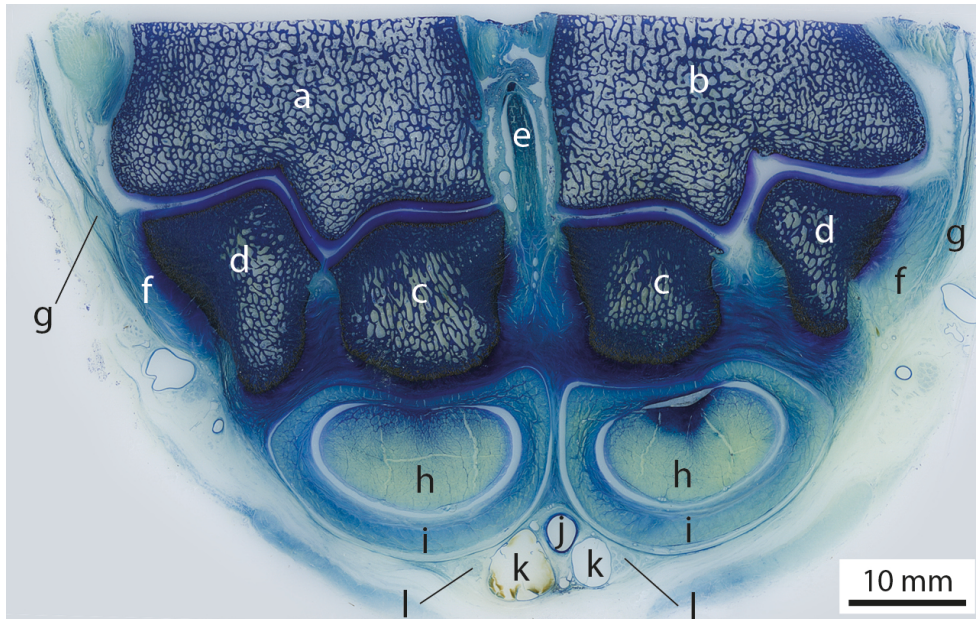
Diese Ebene zeigt Querschnitte durch die beiden Fesselgelenke. Deutlich erkennbar ist zentral der Interdigitalschenkel, welcher noch nicht zweigeteilt ist. Er verläuft zwischen den axialen Gleichbeinen und dem Mc III und Mc IV und ist von einer Falte der Gelenkskapsel überzogen. Auf dieser Höhe wird der Interdigitalschenkel zunehmend schräg oder längs angeschnitten (Abb 16). In einem Präparat kann deutlich eine Kommunikation der beiden Fesselgelenke dargestellt werden (Abb. 17).

Medial und lateral zeigen sich die Seitenstränge, welche zu den abaxialen Gleichbeinen ziehen und an diesen ansetzen. Direkt abaxial den Seitensträngen anliegend können die jeweiligen Unterstützungsäste dargestellt werden. Diese erscheinen nun im Vergleich zum Querschnitt weiter proximal davon viel dünner.

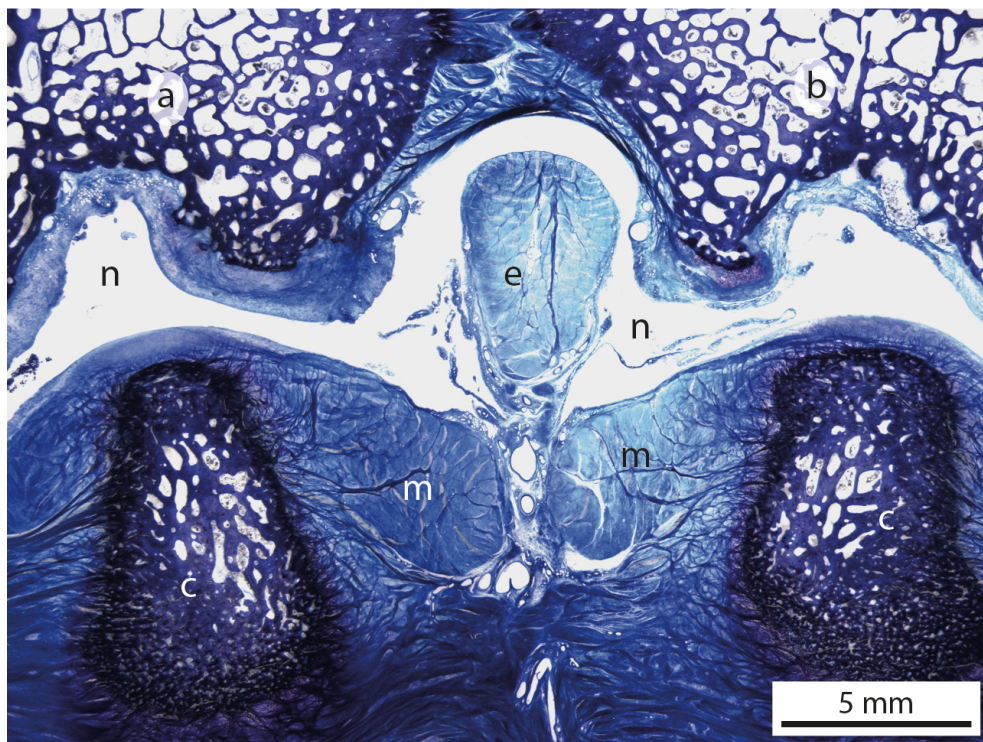
Das Mc III und das Mc IV sind auf dieser Höhe nun vollständig separiert darstellbar. Palmar den Gleichbeinen anliegend befinden sich die beiden Schenkel der tiefen Beugesehne, umgeben von der Manica flexoria. Der dorsale Anteil der Manica flexoria präsentiert sich deutlich dünner als noch weiter proximal und der Anteil der Verbindungsplatte kann nicht mehr abgegrenzt werden.

Die Aa., Vv. und Nn. digitales palmares communes II – IV präsentieren sich wie im Querschnitt weiter proximal.

Im Ultraschall lassen sich im Transversalschnitt die Gleichbeine, sowie die Schenkel der tiefen Beugesehne, umgeben von der Manica flexoria, darstellen (Abb. 18).



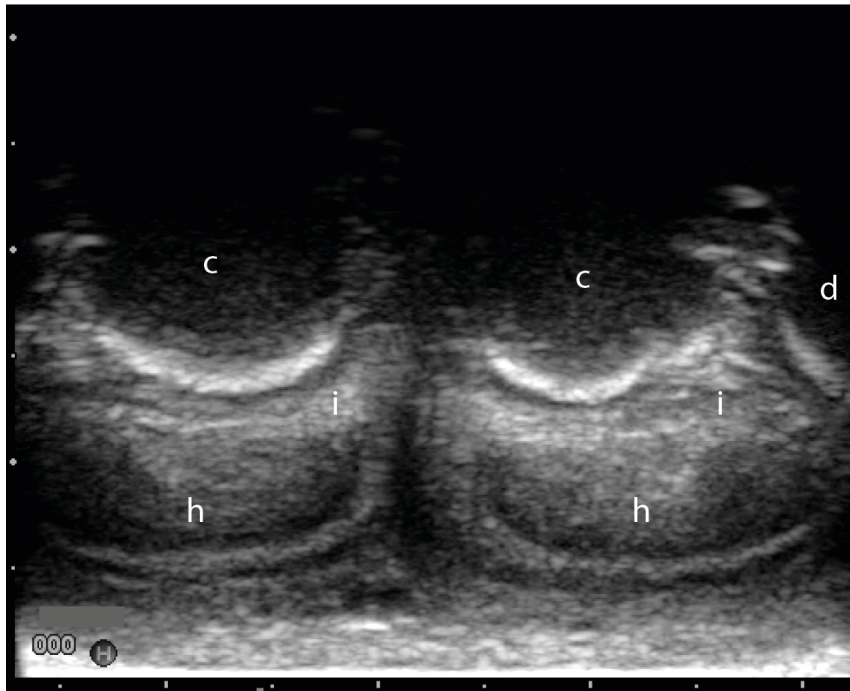
**Abb. 16:** Histologisches Präparat vom distalen Querschnitt durch den palmaren Teil des rechten Vorderfusses, auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b). Giemsa-Färbung.



**Abb. 17:** Histologisches Präparat vom distalen Querschnitt durch den palmaren Teil des rechten Vorderfusses, auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b). Kommunizierende Fesselgelenkshöhle. Giemsa-Färbung.

**a** Os metacarpale III, **b** Os metacarpale IV, **c** axiale Gleichbeine, **d** abaxiale Gleichbeine, **e** Interdigitalschenkel, **f** Seitenstrang, **g** Unterstützungsast des Seitenstrangs, **h** tiefe Beugesehne, **i** Manica flexoria, **j** A. digitalis palmaris communis III, **k** V. digitalis palmaris communis III, meist doppelt ausgebildet, **l** N. digitalis palmaris communis III, meist doppelt ausgebildet, **m** Seitenschenkel der Mittelplatte, **n** kommunizierende Fesselgelenkshöhle





**Abb. 18:** Ultraschallbild vom distalen Teil des Metakarpus, auf Höhe der Gleichbeine. Transversalschnitt von palmar, linkes Vorderbein. (Boppart, 2013).

**c** axiale Gleichbeine, **d** mediales abaxiales Gleichbein, **h** tiefe Beugesehne, **i** Manica flexoria

## 6.2 Histologische Befunde an der Hintergliedmasse

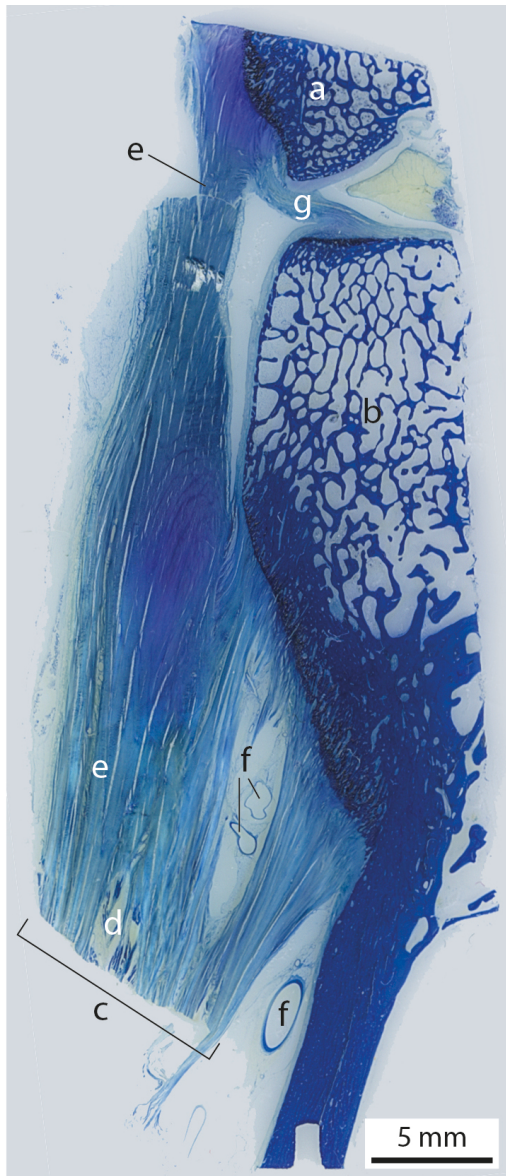
### 6.2.1 Proximal im Ursprungsbereich (Position 1 und 2, Abb. 2)

Auf dieser Ebene wurden Längsschnitte plantar am Tarsus und proximalen Metatarsus hergestellt. Die Längsschnitte wurden medial auf Höhe der mittleren oder distalen Tarsalreihe bis circa 3cm distal des Tarso-Metatarsalgelenks entnommen. Die Querschnitte durch den M. interosseus medius alleine wurden unmittelbar darunter entnommen.

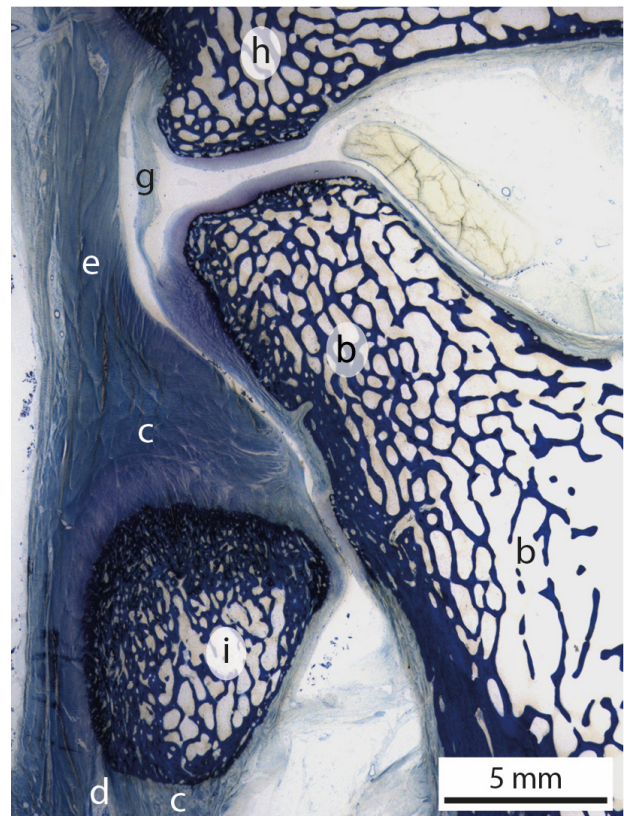
Im Längsschnitt (Position 1, Abb. 2) zeigt sich, dass der M. interosseus medius seinen Ursprung am proximalen Metatarsus, sowie an der distalen und mittleren Reihe der Tarsalknochen hat (Abb. 19 und 20), was auch sonographisch zu sehen ist (Abb. 21). In zwei Präparaten ist das metatarsale Sesambein angeschnitten (Abb. 20). Histologisch können Fasern des M. interosseus medius zu diesem Sesambein ziehen und von da aus weiter nach proximal, bis zu ihrem Ursprung am Os tarsale II et III und der Nase des Os tarsi centroquartale zurückverfolgt werden. Wie an der Vordergliedmasse, lässt sich in zwei von sechs Präparaten wenig Musku-

latur nachweisen. Teilweise verbinden sich die Sehnenfasern des M. interosseus medius auch mit Fasern der plantaren Tarsalbänder und können dann nicht mehr vollständig unterschieden werden.

Im Querschnitt (Position 2, Abb. 2) ist in allen sechs Präparaten Muskulatur nachweisbar. Ihr Anteil variiert von circa 5-20% und ihre Fasern sind stets quer geschnitten. Die Muskelinseln sind eingebettet in ebenfalls quer geschnittenes Sehnengewebe, einige sind auch von wenig Fettgewebe umgeben. Im Gebiet der Muskulatur finden sich viele kleine und mittlere Gefässe, im Bereich des relativ dicht angeordneten Sehnengewebes sind die Gefässe weniger zahlreich und kleiner. Grosse Gefässe und teilweise auch Nerven sind vor allem am Rand der Präparate anzutreffen, meist eingebettet in Fettgewebe.

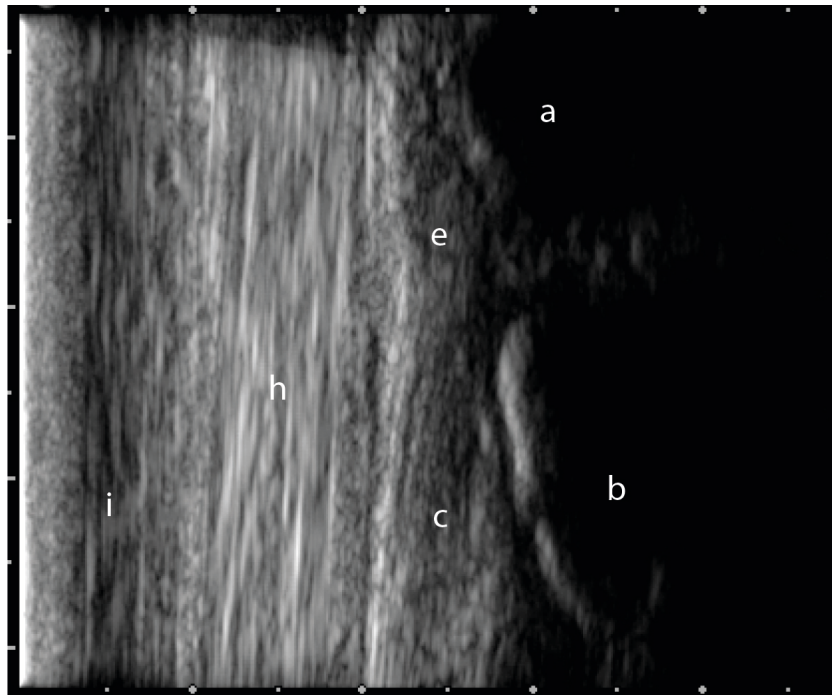


**Abb. 19:** Histologisches Präparat vom Ursprungsgebiet des M. interosseus medius. Längsschnitt, rechtes Hinterbein (Position 1). Giemsa Färbung.



**Abb. 20:** Histologisches Präparat vom Ursprungsgebiet des M. interosseus medius. Längsschnitt, rechtes Hinterbein (Position 1). Anschnitt des in den M. interosseus medius integrierten metatarsalen Sesambeins. Giemsa-Färbung.

**a** Os tarsi centroquartale, **b** Os metatarsale III et IV, **c** M. interosseus medius, **d** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **e** von der distalen Tarsalreihe entspringende Sehnenfasern des M. interosseus medius, **f** Gefässe, **g** Gelenkkapsel des Tarso-Metatarsalgelenks, **h** Os tarsale II et III, **i** Os sesamoideum metatarsale



**Abb. 21:** Ultraschallbild vom Ursprungsbereich des M. interosseus medius. Sagittalschnitt von plantar, linkes Hinterbein. (Boppart, 2013)

**a** Os tarsi centroquartale, **b** Os metatarsale III et IV, **c** M. interosseus medius, **e** von der distalen Tarsalreihe entspringende Sehnenfasern des M. interosseus medius  
**h** tiefe Beugesehne, **i** oberflächliche Beugesehne

### 6.2.2 Proximaler Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte (Position 3, Abb. 2)

Auf dieser Ebene wurden Proben am plantaren Teil des Hinterfusses entnommen, circa 4-5cm distal des Tarso-Metatarsalgelenks (Abb. 22 und 23).

In allen sechs Präparaten enthält der M. interosseus medius vier U- bis schlauchförmige Bereiche aus quergeschnittener Muskulatur, welche das ebenfalls quer getroffene Sehnen- gewebe durchziehen. Bei stärkerer Vergrößerung zeigt sich, dass die Muskelfasern mäanderförmig und relativ dicht angeordnet sind. Die Verteilung der Muskulatur erscheint symmetrischer als proximal an der Vordergliedmasse und ihr geschätzter Anteil beträgt zwischen 15 und 30%. Die Muskelanteile sind auch im Ultraschallbild als weniger echogene Flecken zu erkennen (Abb. 24). Plantar an diese Muskelbereiche angrenzend befinden sich auch vereinzelt Inseln aus Fettzellen, welche auch mehrere Gefässe und vereinzelt kleine Nerven beinhalten. Dies scheint bereits schon eine erste Abgrenzung der Verbindungsplatte zu sein.

Das Gebiet zwischen dem Os metatarsale III et IV und dem M. interosseus medius ist ausgefüllt mit Fettgewebe, vielen grösseren Gefässen und vereinzelt kleinen Nervenfaserbündeln.

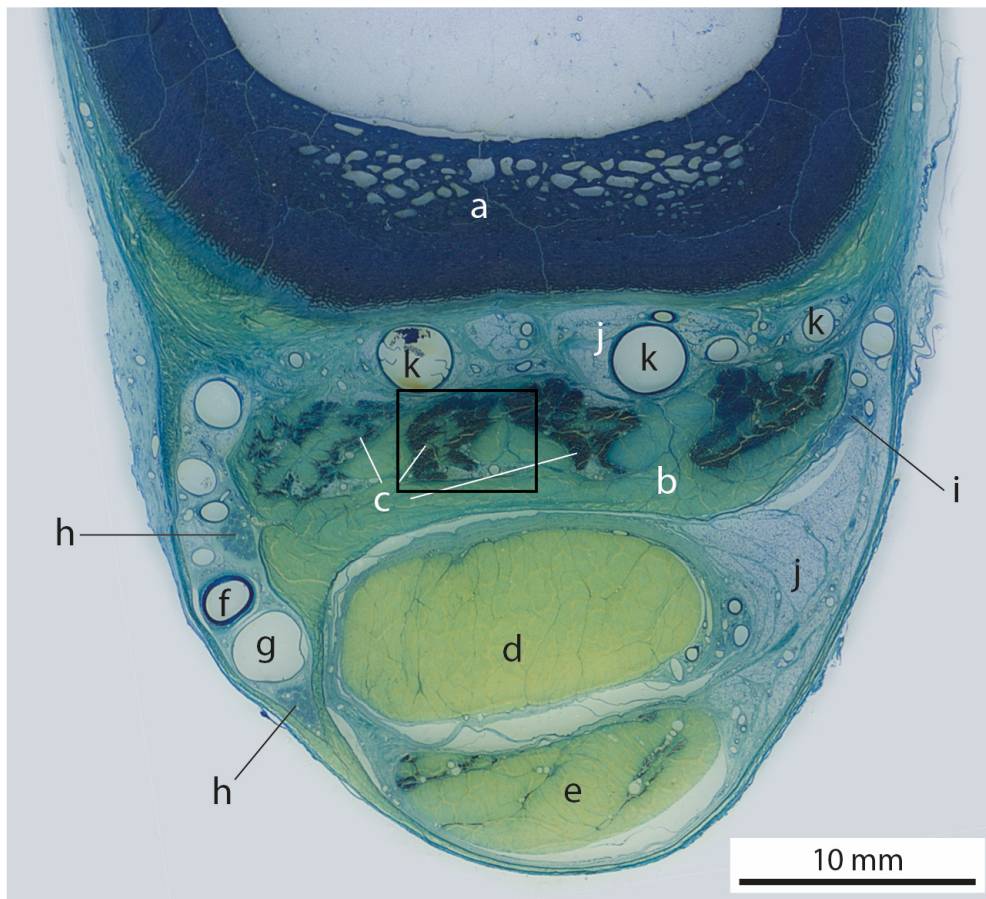
Wie auch an der Vordergliedmasse ist der Markraum des Mt III+IV teilweise durch eine knöcherne Scheidewand unvollständig zweigeteilt.

In allen Präparaten enthält die oberflächliche Beugesehne Muskulatur, ihr Anteil beträgt jedoch deutlich weniger als an der Vordergliedmasse. Sie befindet sich zwischen Bindegewebssepten, welche die dichten Sehnenfasern durchziehen. Die Muskelfasern sind quer geschnitten, sehr locker angeordnet und umgeben von kleinen Blutgefässen und Nerven. Im Bereich der tiefen Beugesehne ist in keinem Präparat Muskulatur erkennbar. Ihre Sehnenfasern sind sehr dicht angeordnet, durchzogen von feinen Bindegewebssepten, dem Peritendineum internum, welches kleinste Gefässe beinhaltet. In einem Präparat ist die tiefe Beugesehne noch zweigeteilt.

In allen Präparaten zeigt sich lateral auf Höhe der Beugesehnen ein auffällig grosses Areal mit Fettgewebe. Darin eingebettet sind diverse kleine Blutgefässe und Nerven.

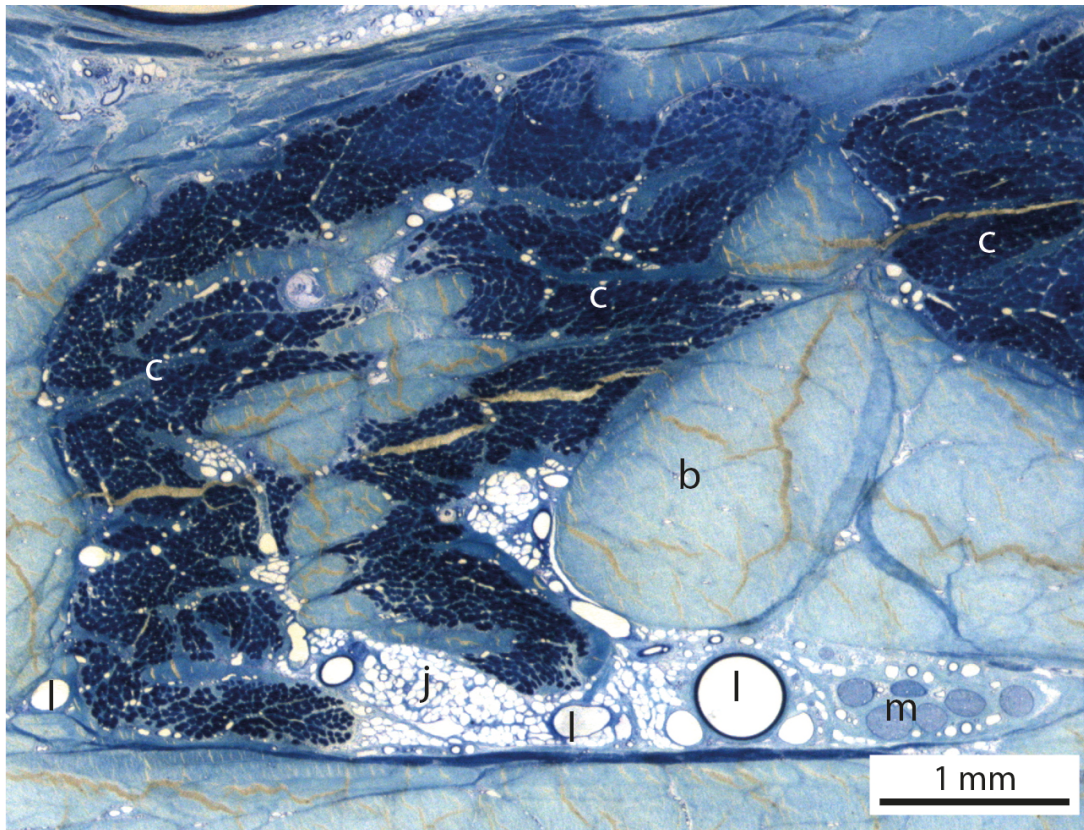
Am medialen Rand der Gliedmasse, auf Höhe der tiefen Beugesehne, können der Ramus superficialis der A. und V. plantaris medialis sowie Anteile des N. plantaris medialis des N. tibialis dargestellt werden. Lateral auf Höhe des M. interosseus medius erkennt man den N. plantaris lateralis des N. tibialis.



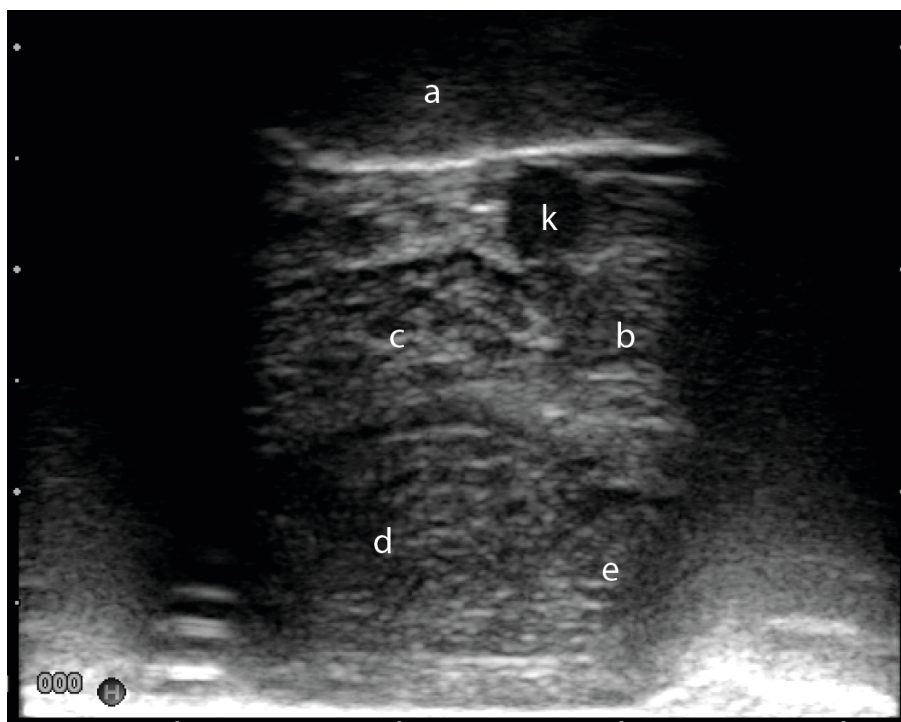


**Abb. 22:** Histologisches Präparat vom proximalen Querschnitt durch den plantaren Teil des rechten Hinterfusses (Position 3). Giemsa-Färbung.

**a** Os metatarsale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** tiefe Beugesehne, **e** oberflächliche Beugesehne, **f** R. superficialis der A. plantaris medialis, **g** R. superficialis der V. plantaris medialis, **h** Anteile des N. plantaris medialis des N. tibialis, **i** N. plantaris lateralis des N. tibialis, **j** Fettgewebe, **k** tiefe Mittelfussgefäße



**Abb. 23:** Ausschnitt aus Abb. 22.



**Abb. 24:**  
Ultraschallbild vom  
proximalen Teil des  
Metatarsus.  
Transversalschnitt  
von plantar, linkes  
Hinterbein. (Boppart,  
2013)

**a** Os metatarsale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** tiefe Beugesehne, **e** oberflächliche Beugesehne, **j** Fettgewebe, **k** tiefe Mittelfussgefäße, **l** Gefäße, **m** Anteile des R. muscularis des R. plantaris lateralis des N. tibialis

### **6.2.3 Mitte Metatarsus (Position 4 und 5, Abb. 1)**

Im Längsschnitt kann bei allen Präparaten Muskulatur nachgewiesen werden, wobei ihr grob geschätzter Anteil zwischen 5% bis hin zu 80% variiert. Die Fasern sind meist schräg und quer angeschnitten, teilweise ist ihre Anordnung auch fächerförmig. Bei zwei Präparaten durchziehen dünne, längs verlaufende Sehnenstränge das Muskelgewebe. Kleine Gefässe und Inseln aus Fettzellen im Bereich der Muskulatur zeigen sich in allen Präparaten. Das Sehngewebe ist stets längs geschnitten und relativ dicht angeordnet, nur vereinzelt zeigen sich kleine Gefässe zwischen den Faserbündeln. Drei Präparate weisen auch grössere Inseln aus Fettgewebe auf. Darin eingebettet sind stets grössere Gefässe.

Auch im Querschnitt enthalten alle Schnitte Muskulatur, wobei sich überall ein sehr ähnliches Bild zeigt. Die Muskulatur ist eingebettet in Sehngewebe und schlängelt sich mäanderförmig durch dieses. Die Muskelfasern sind quer geschnitten, in zwei Präparaten sind einige Fasern auch schräg getroffen. Der Anteil an Muskulatur wird auf 10-40% geschätzt, nur ein Präparat enthält mit geschätzten 5% Muskulatur deutlich weniger. In fast jedem Präparat gibt es Bereiche, wo die Muskelfasern sehr locker angeordnet, und mit viel Fettzellen, kleineren Gefässen und Nerven durchzogen sind.

Das Sehngewebe ist stets quer geschnitten und ziemlich dicht angeordnet. Zwischen den Sehnenfaserbündeln finden sich nur vereinzelt kleine Gefässe und Nerven, oft eingebettet in Bindegewebssepten, welche das Sehngewebe durchziehen. In zwei Schnitten grenzen grössere Bereiche von Fettgewebe, welche auch grössere Gefässe und Nerven beinhalten, ans Sehngewebe an.

### **6.2.4 Mittlerer Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte (Position 6, Abb. 1)**

Auf dieser Ebene zeigt sich, wie an der Vordergliedmasse, dass sich der M. interosseus medius bereits in seine Mittel- und Verbindungsplatte aufgeteilt hat. Teilweise haben sich auch die Seitenstränge schon abgesetzt. In allen sechs Präparaten lässt sich Muskulatur im Bereich der Mittelplatte und, wo bereits separiert, im Bereich der Seitenstränge nachweisen (Abb. 25 und 26).

Die semiquantitative Messung ergibt einen durchschnittlichen Gehalt an Muskulatur von 25%. Der niedrigste Gehalt liegt bei 12% und der höchste bei 33%, die Standardabweichung beträgt 10%.

Wie an den Vordergliedmassen, wurden auch hier die Gewebe mittels Punktzählverfahren genauer untersucht. Die Bereiche mit quergestreifter Muskulatur setzen sich wie folgt zusammen:

**Tabelle 4:** Gewebezusammensetzung der muskulären Areale des M. interosseus medius

Gewebeart	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
Muskulatur	63.6%	53.4%	68.1%	5.4%
Lockeres Bindegewebe	25.2%	22%	32.4%	4.1%
Blutgefäße	8.5%	6.4%	10.7%	1.5%
Nerven	1.4%	0.6%	2.3%	0.6%
Fettgewebe	1%	0%	2%	0.9%

Die Verteilung der Muskulatur ist relativ symmetrisch. Sie formt axial zwei U und abaxial ein S oder Z. Bei näherer Betrachtung zeigt sich auch hier eine mäanderförmige Anordnung. Die Muskelfasern sind stets quer geschnitten und umgeben von diversen kleinen Blutgefäßen und Nerven, sowie vereinzelt Fettzellen.

Der sehnige Anteil des M. interosseus medius ist sehr dicht angeordnet und seine Fasern sind quer geschnitten. Im Bereich der Verbindungsplatte kann keine Muskulatur nachgewiesen werden. Teilweise präsentiert sich die Verbindungsplatte schon zweigeteilt, wobei die beiden Anteile nur noch durch horizontal verlaufende Sehnen- und Bindegewebsfasern miteinander verbunden sind.

Zwischen der Mittel- und der Verbindungsplatte befinden sich medial und lateral zwei größere Bereiche mit viel Fettgewebe, kleinen Blutgefäßen und vereinzelt kleinen Nervenfaserbündeln.

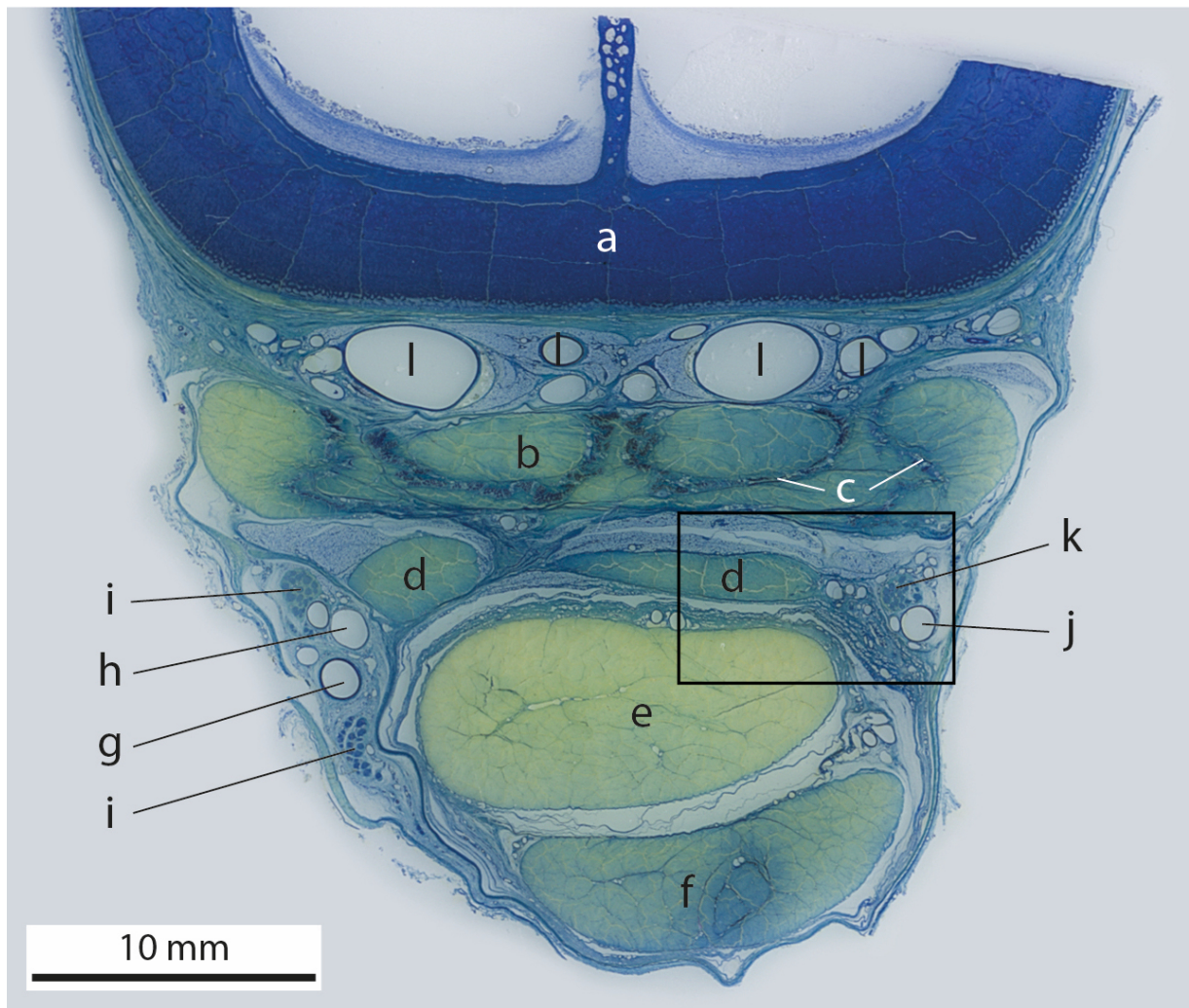
Wie auch weiter proximal ist die Markhöhle des Mt III+IV teilweise unvollständig zweigeteilt. Zwischen dem Mt III+IV und dem M. interosseus medius befindet sich auch hier eine

grössere Menge Fettgewebe und darin eingebettet viele grosse und kleinere Gefässe, sowie kleine Nerven.

Im Bereich der oberflächlichen Beugesehne kann in fünf von sechs Präparaten wenig Muskulatur nachgewiesen werden. Diese befindet sich zentral in der Sehne, zwischen Bindegewebssepten, umgeben von kleinen Gefässen. Medial und lateral der tiefen Beugesehne können dieselben Gefässe und Nerven wie im Querschnitt weiter proximal dargestellt werden.

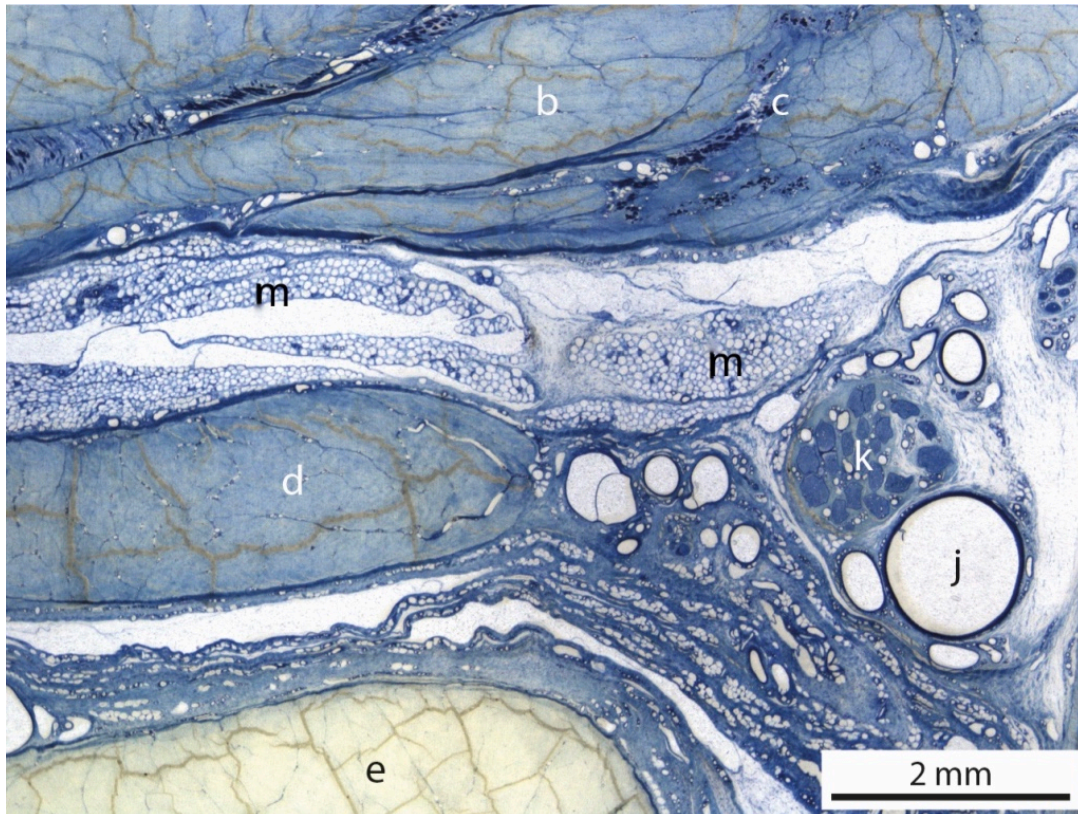
Der sonographische Transversalschnitt in halber Höhe des Metatarsus zeigt neben der hier dunkel erscheinenden Struktur des M. interosseus medius auch deren plantar anschliessende dichte Verbindungsplatte sowie die beiden Beugesehnen (Abb. 27).



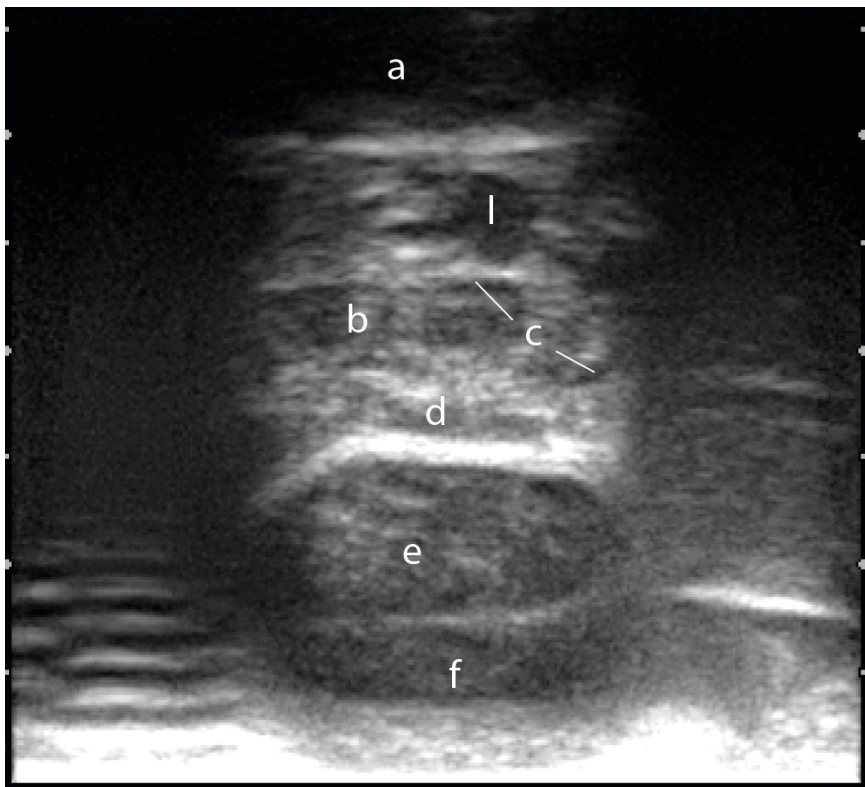


**Abb. 25:** Histologisches Präparat vom mittleren Querschnitt durch den plantaren Teil des rechten Hinterfusses (Position 6). Giemsa-Färbung.

**a** Os metatarsale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** Verbindungsplatte, **e** tiefe Beugesehne, **f** oberflächliche Beugesehne, **g** R. superficialis der A. plantaris medialis, **h** R. superficialis der V. plantaris medialis, **i** Anteile des N. plantaris medialis des N. tibialis, **j** R. superficialis der V. plantaris lateralis, **k** N. plantaris lateralis des N. tibialis, **l** tiefe Mittelfussgefäße



**Abb. 26:** Ausschnitt aus Abb. 25.



**Abb. 27:**  
Ultraschallbild vom  
Metatarsus auf mittlerer  
Höhe.  
Transversalschnitt von  
plantar, linkes  
Hinterbein. (Boppart,  
2013)

**a** Os metatarsale III et IV, **b** sehniger Teil des M. interosseus medius, **c** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **d** Verbindungsplatte, **e** tiefe Beugesehne, **f** oberflächliche Beugesehne, **j** R. superficialis der V. plantaris lateralis, **k** N. plantaris lateralis des N. tibialis, **l** tiefe Mittelfussgefäße, **m** Fettgewebe

### **6.2.5 Verbindungsplatte (Position 7 und 8, Abb. 1)**

Wie auch an der Vordergliedmasse, zeigt sich der M. interosseus medius im Bereich der Verbindungsplatte in einem sehr einheitlichen Bild. Weder im Längs-, noch im Querschnitt, lässt sich Muskulatur finden. Die Sehnenfasern im Längsschnitt sind sehr straff angeordnet und nur mit wenigen kleinen Gefässen durchzogen. Diese werden meist längs angeschnitten. Es lassen sich weder Nervenfaserbündel noch Fettgewebe darstellen.

Im Querschnitt werden alle Sehnenfasern erwartungsgemäss quer geschnitten und auch hier zeigt sich die sehr dichte Anordnung der Fasern. Vereinzelt sind kleine, quer geschnittene Gefässe ins Sehnengewebe eingebettet, andere Gewebearten sind nicht ersichtlich.

6.2.6 – 6.2.9 Die hier angefertigten Schnitte befinden sich wenig proximal des Fesselgelenks (Abb.1).

### **6.2.6 Medialer Seitenschenkel der Mittelplatte (Position 9, Abb. 1)**

Im Bereich der Mittelplatte wurden nur Querschnitte hergestellt. In keinem Präparat lässt sich Muskulatur nachweisen. Im medialen Bereich sind die Sehnenfasern relativ dicht angeordnet und quer geschnitten, dazwischen sind vereinzelt kleine, ebenfalls quer geschnittene Gefässe erkennbar. Von dorsolateral her ziehen längs und schräg verlaufende Sehnenfasern ins Gebiet der quer geschnittenen Fasern ein. Diese Fasern scheinen deutlich lockerer und ihre Struktur hat teils einen verquirlten Charakter. Am Rand finden sich mehrere grössere Gefässe, welche teilweise auch von Fett und Nerven umgeben sind.

### **6.2.7 Medialer Seitenstrang (Position 10, Abb. 1)**

Auch auf dieser Ebene wurden nur Querschnitte angefertigt. Muskulatur kann in keinem Präparat nachgewiesen werden. Die Sehnenfasern sind grösstenteils quer getroffen, von lateral ziehen aber auch längs verlaufende Fasern ein, welche teilweise deutlich aufgelockert wirken. Im Bereich der quer geschnittenen Sehnenfasern sind viele kleine Gefässe eingebettet,



welche ebenfalls quer getroffen sind. Am Rand finden sich zudem grössere Gefässe, eingebettet in Fettgewebe.

#### **6.2.8 Unterstützungsast des medialen Seitenstranges (Position 11, Abb. 1)**

In diesem Bereich wurden nur Querschnitte hergestellt. Die Sehnenfasern verlaufen ausschliesslich quer und sind relativ dicht angeordnet, nur vereinzelt zeigen sich kleine, quer geschnittene Gefässe. Muskulatur kann keine gefunden werden.

#### **6.2.9 Interdigitalschenkel der Mittelplatte (Position 12, Abb. 1)**

Von den Interdigitalschenkeln wurden ausschliesslich Querschnitte angefertigt. Die Sehnenfasern verlaufen stets quer und sie sind relativ dicht angeordnet. Gefässe sind nur vereinzelt ins Gewebe eingebettet, Muskulatur fehlt gänzlich.

#### **6.2.10 Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte proximal der Gleichbeine (Position 13a, Abb. 1)**

Auf dieser Höhe wurden an der Hintergliedmasse nur halbierte Querschnitte hergestellt. Grundsätzlich zeigt sich aber ein ähnliches Bild wie an der Vordergliedmasse. Im Bereich der Manica flexoria lassen sich die Anteile der Verbindungsplatte noch gut abgrenzen. Auch schön zu erkennen ist der Ansatz der Seitenstränge an die abaxialen Gleichbeine, sowie der darüber liegende Unterstützungsast.

#### **6.2.11 Querschnitt durch die plantare Hinterfusshälfte auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b, Abb. 1)**

Auch auf dieser Ebene zeigt sich ein ähnliches Bild wie an der Vordergliedmasse (Abb. 28). Zentral zwischen den geteilten Mt III und Mt IV zeigt sich deutlich der noch einheitliche Interdigitalschenkel, welcher von einer Falte der Gelenkkapsel überzogen ist. In diesem Be-

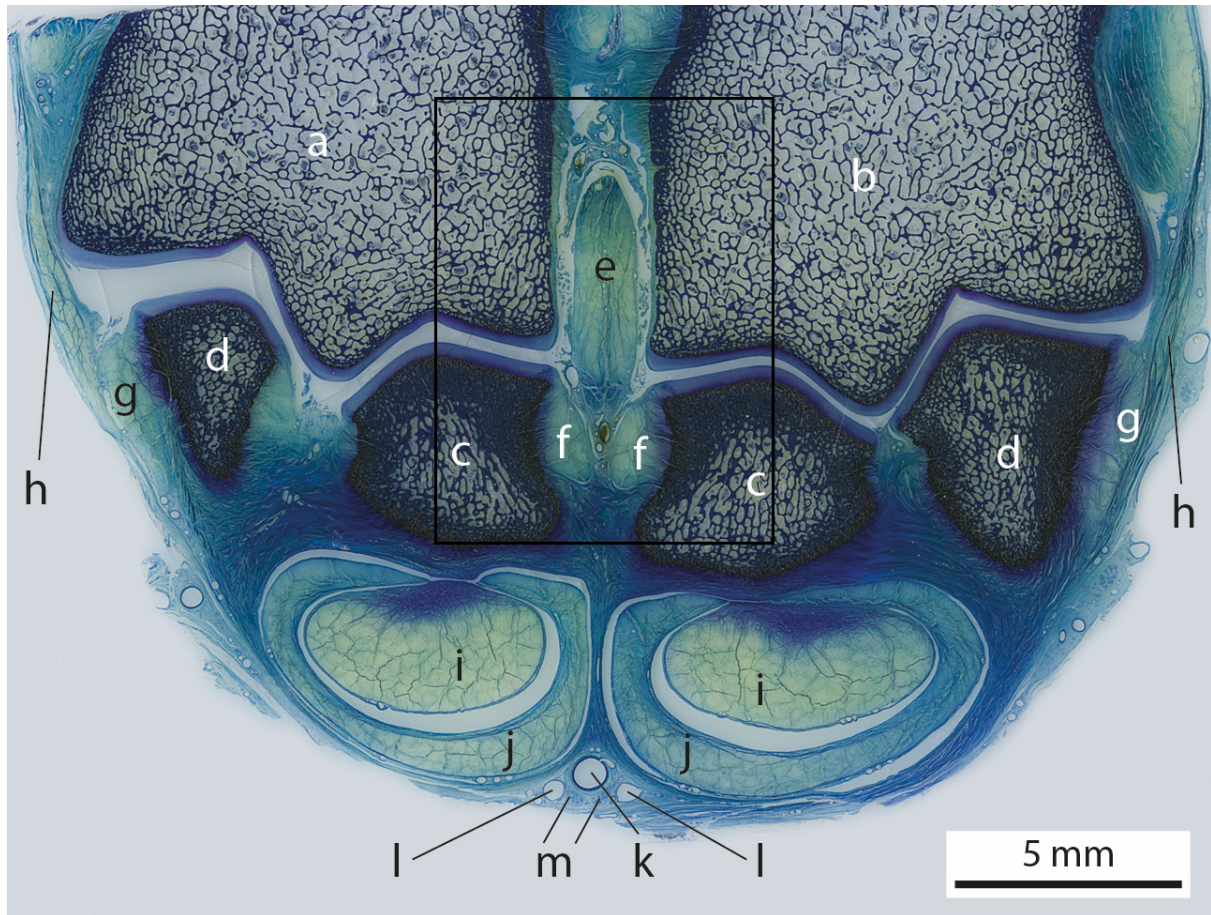
reich kann in einem Präparat auch eine Verbindung der beiden Fesselgelenke dargestellt werden (Abb. 29).

Plantar davon lassen sich die Ansätze der Seitenschenkel an die axialen Gleichbeine darstellen. Medial und lateral zeigen sich die Ansätze der Seitenstränge an die abaxialen Gleichbeine und direkt abaxial darüber liegend die jeweiligen Unterstützungsäste.

Plantar an die Gleichbeine angrenzend befinden sich die beiden Schenkel der tiefen Beugesehne. Ihre Sehnenfasern sind quer geschnitten, sehr dicht angeordnet und durchzogen mit feinen Bindegewebssepten, welche von dorsal einstrahlen. Beide Schenkel sind ummantelt von der Manica flexoria. Diese wird dorsal zunehmend dünner, in einigen Präparaten formt sie keine Ringe mehr, sondern hat nach dorsal geöffnete Spangen. Anteile aus der Verbindungsplatte können nicht mehr identifiziert werden.

Schön zu erkennen sind auch die Gelenkflächen der Metatarsi und der Gleichbeine, welche mit hyalinem Knorpel überzogen sind. Axial am plantaren Rand können in allen Präparaten die A., V. und N. digitalis plantaris communis III dargestellt werden, wobei die Vene und der Nerv meist zweigeteilt sind. Die Aa., Vv. und Nn. digitales plantares communes II und IV können nicht immer schön dargestellt werden.

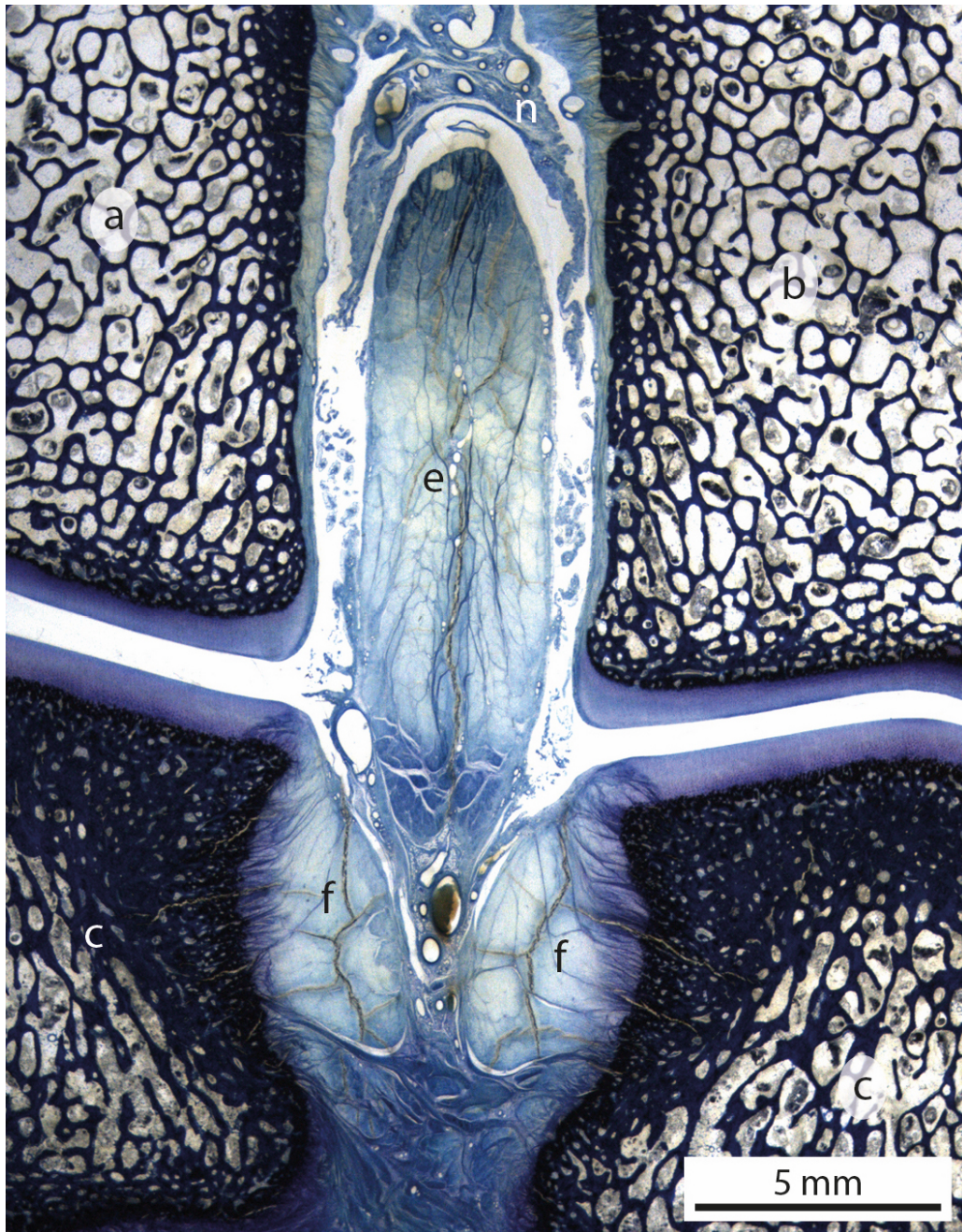
Sonographisch sieht man an der Hintergliedmasse, nebst den Gleichbeinen, die Schenkel der tiefen Beugesehne und die Manica flexoria der oberflächlichen Beugesehne (Abb. 30).



**Abb. 28:** Histologisches Präparat vom distalen Querschnitt durch den plantaren Teil des rechten Hinterfusses, auf Höhe der Gleichbeine (Position 13b). Giemsa-Färbung.

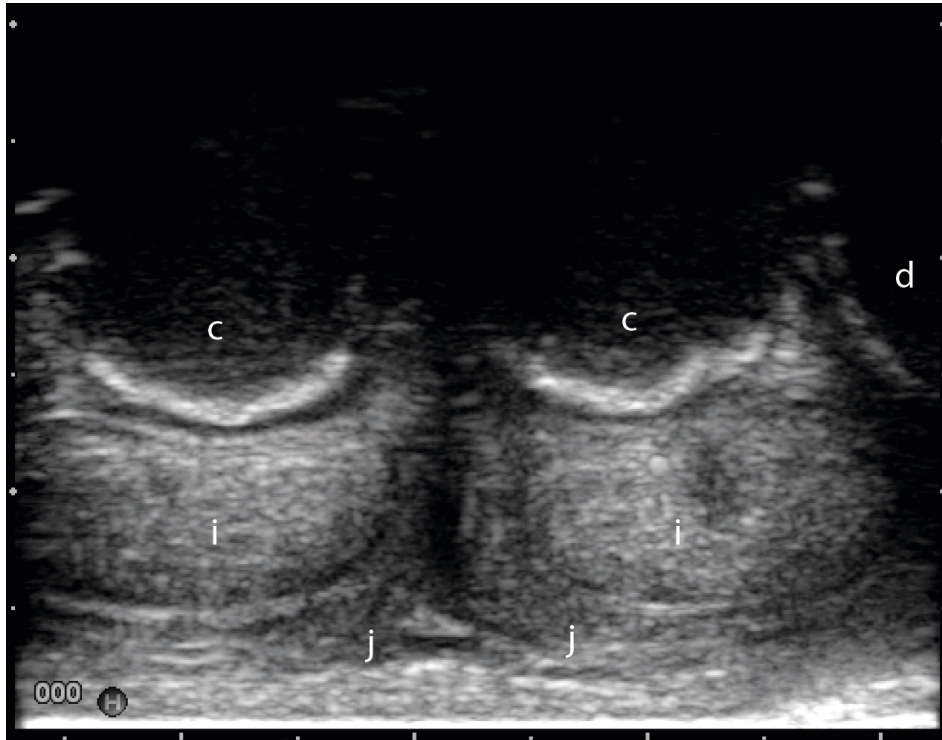
**a** Os metatarsale III, **b** Os metatarsale IV, **c** axiale Gleichbeine, **d** abaxiale Gleichbeine, **e** Interdigitalschenkel, **f** Seitenschenkel der Mittelplatte, **g** Seitenstrang, **h** Unterstützungsast des Seitenstrangs, **i** tiefe Beugesehne, **j** Manica flexoria, **k** A. digitalis plantaris communis III, **l** V. digitalis plantaris communis III, meist doppelt ausgebildet, **m** N. digitalis plantaris communis III, meist doppelt ausgebildet





**Abb. 29:** Ausschnitt aus Abb. 28.

**a** Os metatarsale III, **b** Os metatarsale IV, **c** axiale Gleichbeine, **e** Interdigitalschenkel, **f** Seitenschenkel, **n** Falte der Gelenkkapsel



**Abb. 30:** Ultraschallbild vom distalen Teil des Metatarsus, auf Höhe der Gleichbeine. Transversalschnitt von plantar, linkes Hinterbein. (Boppart, 2013)

**c** axiale Gleichbeine, **d** mediales abaxiales Gleichbein, **i** tiefe Beugesehne, **j** Manica flexoria

### 6.3 Braunviehrind mit Ruptur des *M. interosseus medius*

Von diesem acht Monate alten Rind mit bilateraler Ruptur des *M. interosseus medius* der Hintergliedmassen, wurden Präparate aus dem rechten Hinterbein, 6-8cm distal des Tarso-Metatarsalgelenks auf Höhe der Rupturstelle angefertigt. Es wurden lediglich Querschnitte durch den *M. interosseus medius*, sowie durch die oberflächliche und tiefe Beugesehne hergestellt, umliegende Strukturen wurden nicht erhalten (Abb. 31).

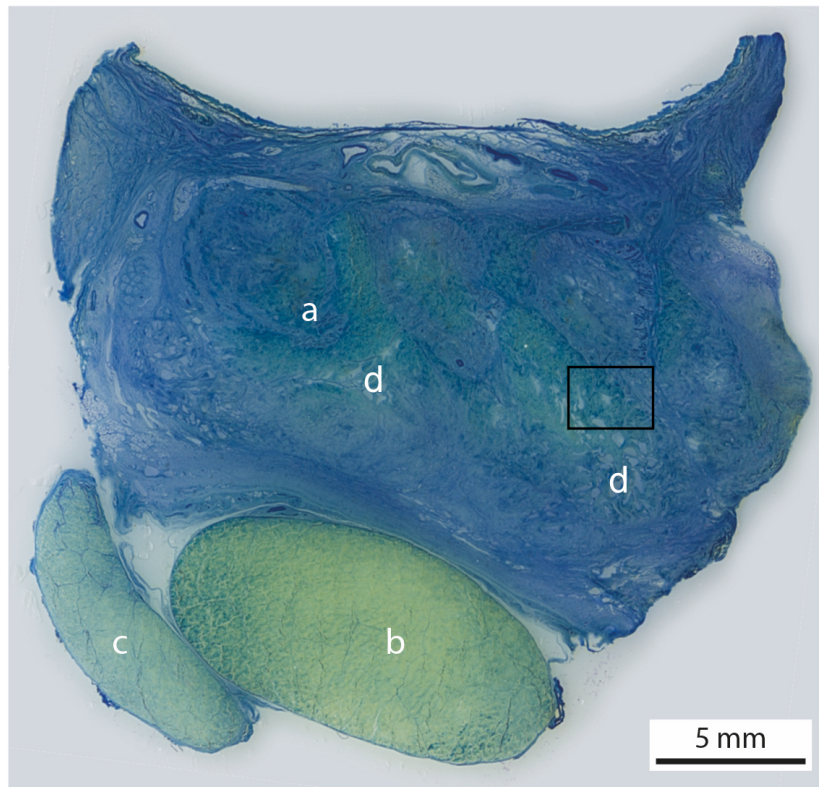
Bereits makroskopisch ist eine massive Schwellung des *M. interosseus medius* erkennbar. Seine Dicke beträgt 10mm, im Vergleich zu 4-5mm Dicke bei gesunden Tieren auf gleicher Höhe. Eine Aufteilung in Mittelplatte und Verbindungsplatte ist nicht ersichtliche.

Der ganze Körper des *M. interosseus medius* ist durchzogen von wenig quer geschnittener Muskulatur. Diese zeigt eine ähnliche mäanderförmige Anordnung wie bei den gesunden Tie-

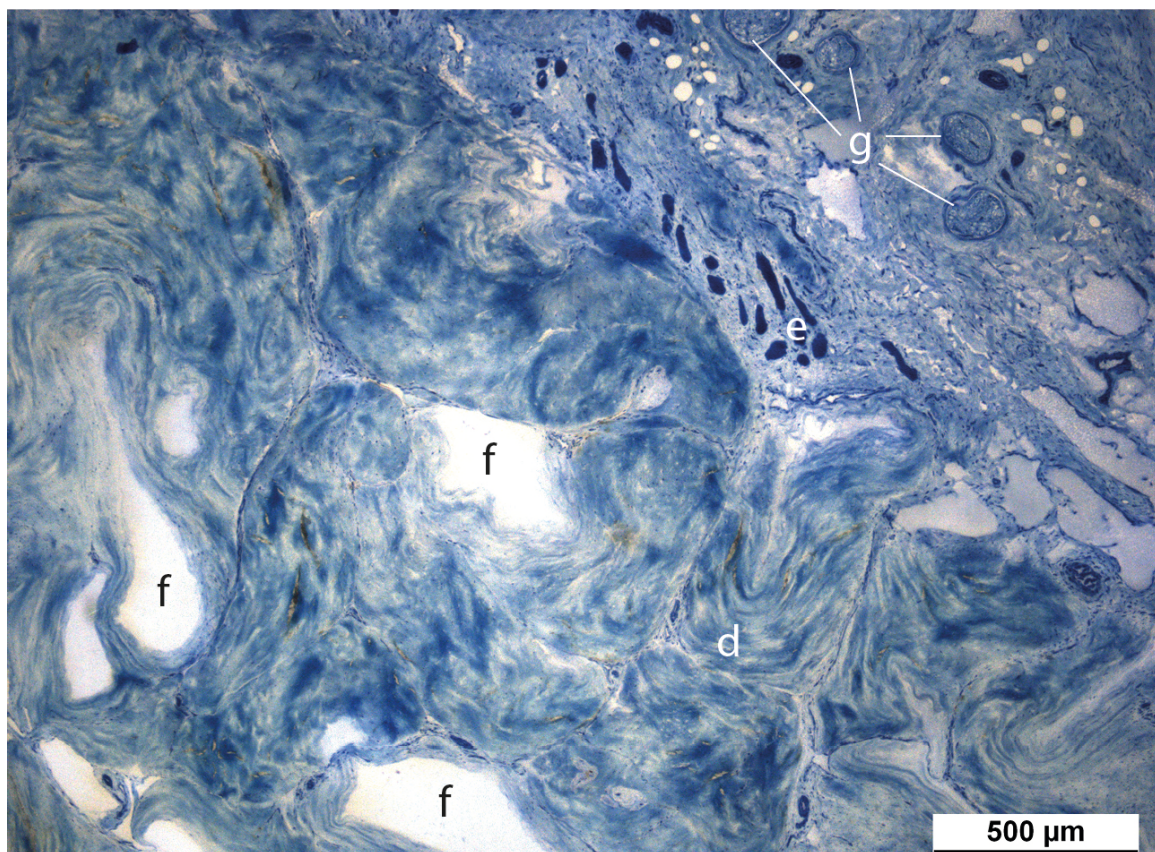
ren. Die Muskelfasern sind relativ locker angeordnet, umgeben von zahlreichen Fibroblasten (Abb 32).

Der auffälligste Befund sieht man im Bereich seines Sehnengewebes. Dieses ist diffus aufgelockert und teils mit vielen Leerräumen durchzogen. Die Fasern verlaufen völlig ungeordnet und es ist kaum eine normale Sehnenstruktur erkennbar.





**Ab. 31:** Histologisches Präparat durch den M. interosseus medius auf Höhe der Rupturstelle und durch die Beugesehnen. Querschnitt, 6-8cm distal des Tarso-Metatarsalgelenks, rechtes Hinterbein. Giemsa-Färbung.



**Abb. 32:** Ausschnitt aus Abb. 31.

**a** M. interosseus medius, **b** tiefe Beugesehne, **c** oberflächliche Beugesehne, **d** aufgelockertes Sehngewebe, **e** Muskelfasern im Bereich des M. interosseus medius, **f** Hohlräume im Bereich des Sehngewebes, **g** Nervenfaserbündel

## **6.4 Braunviehkuh (Vorversuch)**

Von dieser dreieinhalb Jahre alten Kuh wurde im Rahmen der Masterarbeit der M. interosseus medius der rechten Vordergliedmasse untersucht. Es wurden ausschliesslich Paraffinschnitte hergestellt. Proximal im Ursprungsbereich, sowie auf mittlerer Höhe des M. interosseus medius wurden Längs- und Querschnitte angefertigt. Zusätzlich wurden Querschnitte der Verbindungsplatte und des Interdigitalschenkels hergestellt.

Weder proximal noch auf mittlerer Höhe des M. interosseus medius ist Muskulatur auffindbar. Stattdessen trifft man auf grössere Inseln aus Fettgewebe, welche ins Sehnengewebe eingebettet sind. Im Bereich dieser Fettgewebsinseln sind vermehrt kleine Gefässe und Nervenfaserbündel zu erkennen.

Die Querschnitte der Verbindungsplatte und des Interdigitalschenkels unterscheiden sich kaum von denen der jüngeren Tiere.



## 7 Diskussion

Die mehrmals bei Jungrindern im Alter von einem Jahr aufgetretenen Rupturen des M. interosseus medius (NUSS et al., 2017) waren der Anlass zur näheren Abklärung der Morphologie des Fesselträgers. Diese sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf anatomischer und histologischer Ebene untersucht werden. Um pathologische Veränderungen konkret ansprechen zu können ist es wichtig, den genauen Verlauf und die Gewebezusammensetzung des M. interosseus medius zu kennen. Die Gegenüberstellung von ausgewählten histologischen Schnittbildern mit entsprechenden Ultraschallbildern derselben Lokalisation soll eine zukünftige Hilfestellung bei der Beurteilung von ultrasonographischen Befunden am Fesselträger und umliegenden Strukturen sein. Auch können die Bilder hilfreich sein bei der Auswertung von Computer-Tomographie (CT)- oder Kernspin-Tomographie = Magnetic Resonance Imaging (MRI)-Studien des Fesselträgers.

Beim Betrachten der instruktiven Bilder zur topographischen Histologie soll aber nicht vergessen werden, dass zur Erstellung der Präparate ein erheblicher personeller und zeitlicher Aufwand nötig ist.

### 7.1 Material und Methoden

Die gewonnenen Proben stammen von insgesamt sechs Rindern, welche zum Zeitpunkt der Schlachtung alle zwischen zwölf und vierzehn Monate alt waren. Um keine verfälschten Resultate zu erhalten, wurden ausschliesslich klinisch gesunde und lahmheitsfreie Tiere ausgewählt, welche auch regelmässig Weidegang hatten. Durch die hauseigene Schlachtung am Tierspital Zürich konnten die Beine direkt nach dem Ausbluten der Rinder abgesetzt und weiter verarbeitet werden. Somit konnte eine Gewebeschädigung durch Einfrieren oder autolytische Prozesse verhindert werden. Zudem konnten so die Beine genügend weit proximal abgesetzt werden, um den Ursprungsbereich des M. interosseus medius nicht zu beschädigen. In einer kommerziellen Schlachthanlage wäre dies kaum möglich gewesen.

Beim Zuschneiden der Proben musste darauf geachtet werden, dass alle Strukturen in ihrer Position gehalten wurden. Besonders im Ursprungsbereich und auf Ebene der Gleichbeine drohten einzelne kleine Knöchelchen aus dem Probenblock zu fallen. Die weitere Fixation

und das Einbetten der Proben in Methylmethacrylat (MMA) verlief zufriedenstellend, wenn auch der ganze Prozess sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Durch die Entwässerung der Proben kam es zu einer mässigen Schrumpfung des Weichteilgewebes und in der Folge zu Schrumpfungsartefakten. Diese sind an den fertigen Schnitten im Bereich des Sehnengewebes als bräunlich-beige, schmale Bänder von hier eingedrunenem MMA erkennbar. Aufgrund dieser mässigen Gewebeschrumpfung ist es auch kaum sinnvoll, die histologischen Schnitte mit Ultraschall- oder MRI-Bildern morphometrisch zu vergleichen. Dies konnte Bischofberger et al. (2006) anhand von Studien beim Pferd aufzeigen. Doch können die histologischen Bilder sehr hilfreich sein bei der Interpretation der Befunde von Ultraschall und MRI, da die an den betreffenden Stellen vorhandenen Strukturen klar zu erkennen und anzusprechen sind.

Das Schneiden und Fräsen der MMA-Blöcke geschah ohne grössere Schwierigkeiten. Lediglich die grossen distalen Querschnitte verformten sich sehr leicht, was teilweise das Aufkleben auf die Plexiglasplatten erschwerte. Durch genügend langes Pressen unter Metallklötzen, konnte dieses Problem aber behoben werden. Bei den Fräsköpfen musste darauf geachtet werden, dass diese nicht zu stumpf wurden. Auf einigen Präparaten hinterliessen zu stumpfe Fräsköpfe deutliche Frässpuren auf der Schnittoberfläche. Diese waren als feine, regelmässig verlaufende Linien erkennbar. Feine Spuren liessen sich durch den Poliervorgang beseitigen, tiefere Spuren konnten nicht immer vollständig entfernt werden.

Gefärbt wurden die Schnitte mit der Oberflächenfärbung nach Giemsa. Das Sehnengewebe wird dadurch, je nach Intensität, grünlich bis bläulich eingefärbt. Muskelfasern, Knochen und Gefässwände erscheinen stets in einem kräftigen Dunkelblau. Die Färbezeit musste auf jedes Präparat einzeln abgestimmt werden, da die Farbannahme nicht immer konstant gleich war. Im Allgemeinen färbten sich längs geschnittene Sehnenfasern aber viel intensiver an als quer geschnittene. Längsschnitte verblieben dementsprechend deutlich weniger lange in der Färbelösung. Der grösste Teil der Präparate konnte so zufriedenstellend eingefärbt werden, vereinzelt bildeten sich aber unschöne Farbniederschläge.

Die topographische Histologie der grossen Querschnitte erweist sich als sehr gut und ermöglicht einen guten Überblick über die Verhältnisse am palmaren, bzw. plantaren Röhrbein. Bei starker Vergrösserung lassen sich auch feine Strukturen problemlos darstellen. Die kleinen Schnitte, welche an definierten Lokalisationen des M. interosseus medius isoliert entnommen wurden, liefern ebenfalls qualitativ gute histologische Bilder. Die im Rahmen der Masterar-

beit hergestellten Paraffinschnitte, welche jeweils auf der lateralen Seite der gleichen Ebene entnommen wurden, sind den entsprechenden MMA-Schnitten jedoch ebenbürtig. Es muss aber angefügt werden, dass die Herstellung von Paraffinschnitten des harten Sehnengewebes äusserst schwierig und zeitaufwändig ist, da das Sehnengewebe sehr leicht zerreisst oder bröckelt und oft kaum schneidbar ist.

## **7.2 Ergebnisse**

### **7.2.1 Verlauf und Gewebezusammensetzung des M. interosseus medius**

Über den Ursprungsbereich des M. interosseus medius existieren in der Literatur verschiedene Angaben, teilweise widersprechen sich die Autoren sogar selbst. Anhand der eigenen Untersuchungen kann gezeigt werden, dass der M. interosseus medius an der Vordergliedmasse zum grössten Teil am proximalen, palmaren Bereich des Metakarpus entspringt. Deutlich zu erkennen sind aber auch Fasern, welche sich mit den palmaren Karpalbändern verbinden und zur distalen und proximalen Karpalreihe ziehen. Somit kann die Aussage von Maierl (2004), der M. interosseus medius entspringe nur am „proximalen Metakarpus“, widerlegt werden. Auch an der Hintergliedmasse war festzustellen, dass der M. interosseus medius seinen Ursprung am proximalen, plantaren Anteil des Metatarsus sowie an der distalen und mittleren Reihe der Tarsalknochen hat. Das metatarsale Sesambein scheint in den M. interosseus medius integriert zu sein.

An der Vorder- und an der Hintergliedmasse können in jeweils zwei von sechs Längsschnitten bereits 1-2cm unterhalb des Ursprungsbereichs Muskelfasern nachgewiesen werden. Ab dem Querschnitt direkt distal davon finden sich in allen Vorder- und Hinterbeinen beträchtliche Anteile an Muskulatur, bis zur Höhe der Querschnitte durch die palmare/plantare Röhrbeinhälfte auf mittlerer Höhe des Röhrbeines. Die Muskulatur befindet sich stets im Bereich des Körpers des M. interosseus medius, bzw. nur wenig weiter distal im Bereich der Mittelplatte und der Seitenstränge. Die Verbindungsplatte ist in ihrem gesamten Verlauf frei von Muskulatur. Bei allen Präparaten weiter distal der mittleren Röhrbeinhöhe ist keine Muskulatur mehr auffindbar. Leider wurden beim damaligen Stand des Wissens keine Proben der Mittelplatte direkt proximal ihrer Aufteilung in die Seitenschenkel entnommen. Es wäre interessant gewesen, die genaue Höhe des Verschwindens der Muskulatur zu eruieren.

Boppart (2013) konnte anhand von Gefrierschnitten auch weiter distal der mittleren Röhrbeinhöhe Muskulatur im Bereich der Mittelplatte nachweisen.

Beim Pferd konnten Weingart (2006) und Schramme et al. (2012) Muskulatur im Körper des M. interosseus medius bis zu seiner Aufteilung in die Schenkel nachweisen, die Schenkel selbst waren stets frei von Muskulatur. Kaminski (2006) wiederum fand vereinzelt auch Muskelfasern im Bereich der Schenkel. Dies spricht für ein gewisses individuelles Verteilungsmuster, was beim Rind sicher auch zu erwarten ist. Dies würde die Diagnostik von Sehnenerkrankungen zusätzlich erschweren.

Schramme (2012), sowie Schulze und Budras (2008) beschreiben beim Pferd eine symmetrische Verteilung der Muskulatur und des Fettgewebes im Seitenvergleich zweier Beine eines Individuums. Dies unterstreicht erneut die Wichtigkeit eines Seitenvergleichs in der Diagnostik von Fesselträgererkrankungen. Beim Rind kann anhand der vorliegenden Arbeit diese Symmetrie nicht bestätigt werden, da jeweils nur rechte Vorder- und Hinterbeine untersucht wurden.

Die Verteilung der Muskulatur zeigt im Querschnitt ein relativ konstantes Muster und eine gewisse Symmetrie. So ist der Körper des M. interosseus medius stets mit vier Arealen aus Muskelfasern durchzogen, von welchen die beiden axialen Bereiche schlauch- oder U-förmig und die beiden abaxialen Bereiche mäander- oder S-förmig sind.

Im Allgemeinen finden sich zwischen den teils relativ locker angeordneten Muskelfasern vermehrt kleine Blutgefäße und Nervenfaserbündel. Angrenzend an die Bereiche mit Muskulatur trifft man in allen Präparaten auf kleinere Inseln aus Fettgewebe, welche ins Sehnen- gewebe eingebettet sind. Diese beherbergen stets mehrere Gefäße und Nerven. Weingart (2006) und Kaminski (2006) haben beim Pferd Ähnliches festgestellt. Anhand eines Vorversuchs wurde im Rahmen der Masterarbeit der Fesselträger der rechten Vordergliedmasse einer dreieinhalbjährigen Braunviehkuh untersucht. Dieser enthielt in keiner der untersuchten Lokalisationen Muskulatur, dafür mehrere Inseln aus Fettgewebe, welche ins Sehnen- gewebe eingebettet waren. Es stellt sich somit die Frage, ob das Muskelgewebe mit zunehmendem Alter durch Fettgewebe ersetzt wird. Eine histologische Studie bei elf gesunden Pferden besagt jedoch, dass mit zunehmendem Alter der Anteil an Bindegewebe zunehme (SHIKH ALSOOK et al., 2013). Inwiefern bei älteren Rindern die Muskulatur des M. interosseus me-

dius durch andere Gewebearten ersetzt wird, wäre sicherlich eine spannende Fragestellung für weitere Studien.

Die semiquantitative Messung der Muskulatur auf mittlerer Röhrbeinhöhe ergab, dass die Vordergliedmassen mit durchschnittlich 33% eventuell etwas mehr Muskulatur enthielten als die Hintergliedmassen mit durchschnittlich nur 25%. Im Punktzählverfahren enthielten aber die muskulären Bezirke der Hintergliedmasse im Schnitt 64%, an der Vordergliedmasse nur 62% Muskulatur. Da die Messungen jeweils nur auf einer Höhe des M. interosseus medius durchgeführt wurden, lässt sich kaum eine Aussage zum Muskelgehalt des gesamten Fesselträgers machen.

Das Sehnengewebe des M. interosseus medius sieht ähnlich aus wie das Sehnengewebe der Beugesehnen. Es ist stets sehr dicht angeordnet und mit Bindegewebessepten, dem Peritendineum internum durchzogen, welche kleinste Blutgefäße beinhalten. Zwischen den einzelnen Sehnenfasern eines Primärbündels findet man ansonsten keine Blutgefäße oder Nerven.

Auf mittlerer Höhe des Röhrbeins hat sich in allen Präparaten der Vorder- und Hintergliedmassen die Verbindungsplatte bereits separiert. Sie ist in vielen Präparaten sogar schon zweigeteilt. In einigen Schnitten hat sich der M. interosseus medius sogar schon in seine Mittelplatte und die beiden Seitenstränge aufgeteilt. König et al. (2013) beschreiben die Abspaltung der Verbindungsplatte erst im distalen Drittel des Röhrbeines. Die weitere Aufteilung der Mittelplatte in seine fünf Schenkel, die da wären die beiden Seitenstränge, die beiden Seitenschenkel und der Interdigitalschenkel, geschehe erst proximal der Fesselgelenke. Anhand der eigenen Resultate und anhand der Masterarbeit von Boppart (2013) können diese Angaben nicht bestätigt werden.

Schlücker (2012) charakterisiert die Mittelplatte als uneinheitliches Gebilde, welches teilweise die Gestalt einer flachen Sehne annimmt, manchmal aber auch zweibauchig oder dreigliedrig erscheint. Anhand der eigenen Untersuchungen kann diese Vielgestaltigkeit nicht bestätigt werden. Auffällig ist lediglich die unterschiedliche Höhe der Abspaltung der Seitenstränge.

Liebich et al. (2015) schreiben, der M. interosseus medius liege dem Metakarpus palmar unmittelbar an. Diese Aussage kann höchstens für den Ursprungsbereich geltend gemacht

werden, denn bereits ab Höhe des proximalen Querschnitts durch den palmaren Vorderfuss findet man grössere Mengen an Fettgewebe zwischen dem M. interosseus medius und dem Metakarpus. In dieses Fettgewebe eingebettet finden sich die tiefen palmaren Mittelfussgefässe, sowie kleinere Nervenfaserbündel. Grössere tiefe palmare Mittelfussgefässe können auch im Ultraschallbild gut dargestellt werden. An der Hintergliedmasse zeigt sich ein ähnliches Bild.

Die distalen Querschnitte auf Höhe der Gleichbeine zeigen sehr schön die Ansätze des M. interosseus medius. Die Seitenstränge setzen aussen an den abaxialen Gleichbeinen an, die Seitenschenkel innen an den axialen Gleichbeinen. Medial und lateral sind die Unterstützungsäste der Seitenstränge als dünne, nach dorsal ziehende Sehnenstränge zu erkennen und zentral der Interdigitalschenkel, welcher im Zwischenklauenspalt ebenfalls nach dorsal zieht. In mehreren Präparaten sieht man sehr schön die Kommunikation der beiden Fesselgelenke, die sich dorsal der Interdigitalschenkel befindet. Die Schenkel der Verbindungsplatte sind vollständig mit den Schenkeln der oberflächlichen Beugesehne zur Manica flexoria verschmolzen und umschliessen die jeweiligen Schenkel der tiefen Beugesehne. In diesem Bereich verhält sich der Fesselträger ganz wie in der Literatur beschrieben.

### **7.2.2 Vergleiche mit den Ultraschallbildern**

Die Längsschnitte des Ursprungsbereichs sowie alle Querschnitte durch die palmaren bzw. plantaren Röhrbeinhälften wurden den entsprechenden Ultraschallbildern derselben Position gegenübergestellt. Die Längsschnitte des Ursprungsbereichs wurden palmaren, bzw. plantaren Sagittalschnitten gegenübergestellt, die Querschnitte wurden mit palmaren, bzw. plantaren Transversalschnitten verglichen. Letztere Ebene ist auch die Ebene der ersten Wahl bei der Beurteilung von Sehnen und Bändern palmar/plantar am Röhrbein (KOFLER, 2011). Um den Fesselträger vollständig darzustellen sind aber zusätzlich auch sagittale und manchmal sogar schräge Abbildungsebenen sowie das Abkippen des Schallkopfs nach medial und lateral nötig (KOFLER et al., 2014).

Grundsätzlich sind – in Abhängigkeit von der Qualität des Gerätes - die meisten Strukturen im Ultraschall gut zu erkennen und es zeigt sich ein ähnliches Bild wie in den histologischen Schnitten. Aufgrund der unvollständigen Ankopplung der Ultraschallsonde auf der Haut ist

aber meist nicht die gesamte Schnittebene darstellbar. Hierzu werden zusätzliche Aufnahmen von palmaro-/plantaro-medial, bzw. –lateral benötigt.

Anhand der Sagittalschnitte im Ursprungsbereich erkennt man sehr schön den Ursprung des M. interosseus medius am proximalen Anteil des Metakarpus und den Karpalknochen an der Vordergliedmasse bzw. am proximalen Anteil des Metatarsus und den Tarsalknochen an der Hintergliedmasse. Allerdings verbinden sich die Fasern des M. interosseus medius mit Fasern der palmaren/plantaren Karpal-, bzw. Tarsalbänder und lassen sich von diesen nicht eindeutig abgrenzen. Palmar, bzw. plantar an den Fesselträger angrenzend erkennt man die oberflächliche und die tiefe Beugesehne, welche sich relativ gut gegeneinander abgrenzen lassen und eine dichte, streng parallele Faserausrichtung aufweisen. Diese Strukturen blieben bei den entsprechenden histologischen Schnitten leider nicht erhalten.

Auf Höhe der proximalen Querschnitte erkennt man im Ultraschall von palmar/plantar nach dorsal die oberflächliche Beugesehne, welche an der Vordergliedmasse in ihre zwei Bäuche geteilt ist, die tiefe Beugesehne, den Körper des M. interosseus medius, sowie das Röhrbein. Zwischen Röhrbein und M. interosseus medius erkennt man den Bereich mit Fettgewebe, teilweise lassen sich auch die tiefen Mittelfussgefäße als rundliche hypoechogene Strukturen darstellen. Der M. interosseus medius wirkt in seiner Struktur und Echogenität sehr inhomogen. Bei genauerer Betrachtung scheint es, als könne man den mäander- oder U-förmigen Verlauf der Muskulatur erkennen, ein sicheres Ansprechen aller muskulären Bezirke scheint jedoch nicht möglich. Die oberflächliche Beugesehne enthält auf dieser Ebene, besonders an der Vordergliedmasse, stets noch Muskulatur. Im Ultraschall konnte diese aber nicht erkannt werden, jedoch kann diese nun mit Hilfe der histologischen Bilder und allenfalls mit neuen Geräten gezielt aufgesucht werden.

Auf mittlerer Röhrbeinhöhe zeigt sich ein ähnliches Ultraschallbild wie weiter proximal. Auch hier erscheint der M. interosseus medius aufgrund der Einlagerung von Muskulatur und Fettgewebe inhomogen. Die Muskulatur im Bereich der oberflächlichen Beugesehne ist auch auf dieser Ebene nicht mehr darstellbar. Als neue Struktur erkennt man nun deutlich die Verbindungsplatte, welche sich zwischen dem M. interosseus medius und der tiefen Beugesehne befindet. Teilweise haben sich auf dieser Ebene die Seitenstränge schon separiert. In den entsprechenden histologischen Schnitten erkennt man stets mehr oder weniger grosse



Mengen an Muskulatur im Bereich der Seitenstränge, im Ultraschall können diese aber nicht sicher angesprochen werden.

Im Querschnitt proximal der Gleichbeine erkennt man mit der Ultraschalluntersuchung gut die beiden Seitenschenkel sowie die beiden Schenkel der Verbindungsplatte. Letztere formatieren sich zur Manica flexoria, sie sind aber noch nicht vollständig mit den Schenkeln der oberflächlichen Beugesehne verschmolzen. Die Seitenstränge lassen sich in der palmaren, bzw. plantaren Aufnahme- richtung nicht darstellen. Hierzu muss die Sonde nach medial und lateral verschoben werden. Die Unterstützungsäste lassen sich in keiner Aufnahme- richtung darstellen, da diese Strukturen zu fein sind und direkt unter der Haut zu liegen kommen. Auch der Interdigitalschenkel kann nicht dargestellt werden.

Auf Höhe der Gleichbeine erkennt man im Transversalschnitt von palmar/plantar die axialen Gleichbeine, die beiden Schenkel der tiefen Beugesehne, sowie die Manica flexoria. Am medialen und lateralen Bildrand können Anteile der abaxialen Gleichbeine dargestellt werden. Der Interdigitalschenkel, die Unterstützungsäste, sowie die Ansätze der Seitenschenkel und Seitenstränge lassen sich nicht darstellen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich mit der Ultraschalluntersuchung die meisten Strukturen des Fesselträgers darstellen lassen. Häufig sind dazu aber mehrere Aufnahme- richtungen nötig und es bedarf einer gewissen Übung. Trotz dem direkten Vergleich von Ultraschallbildern mit entsprechenden histologischen Schnitten lässt sich die Muskulatur im Bereich des M. interosseus medius im Ultraschall nicht immer schön abgrenzen. Hinzu kommt, dass die genaue Verteilung von Tier zu Tier variieren kann. Dies kann das Erkennen von feineren pathologischen Veränderungen im Bereich des Fesselträgers stark erschweren. Bei unklaren Befunden kann allenfalls ein Seitenvergleich mit der kontralateralen Gliedmasse hilfreich sein (KOFLER et al., 2014). Deutlich bessere Resultate würde vermutlich eine MRI-Untersuchung liefern (BISCHOFBERGER et al., 2006; SCHRAMME et al., 2012). Anhand von MRI-Aufnahmen lassen sich die anatomischen Strukturen im Bereich des Fesselträgers sowie deren Gewebezusammensetzung sehr gut darstellen (EHLERT et al., 2011). Aufgrund der hohen Kosten, logistischer Probleme, sowie der benötigten Anästhesie, findet das MRI jedoch bisher keine Anwendung in der Rinderpraxis. Low-Field-MRI-Geräte werden aber immer erschwinglicher, wodurch ihre Verwendung in der Diagnostik, zumindest bei sehr wertvollen Tieren, bestimmt zunehmen wird (EHLERT, 2006; EHLERT et al., 2011;

KOFLER et al., 2014). Im Gegensatz dazu ist Ultraschall schnell, kostengünstig und überall durchführbar (GONÇALVES et al., 2014; KOFLER et al., 2014; NUSS et al., 2018), und wird sicherlich auch in Zukunft eines der wichtigsten diagnostischen Hilfsmittel bei der Beurteilung von Sehnenverletzungen sein.

### **7.3 Verletzungen des M. interosseus medius**

Obschon Verletzungen des M. interosseus medius beim Rind eine eher seltene Lahmheitsursache darstellen, konnten Nuss et al. (2017) in den letzten Jahren elf Fälle von Niederbrüchen des Fesselträgers diagnostizieren. Auffällig ist, dass die betroffenen Tiere stets zwischen acht und fünfzehn Monate alt waren und die Lahmheit meist nach dem Weidegang oder Aufenthalt im Aussenbereich des Freilaufstalls auftrat. Zehn der elf Tiere waren Rinder der Rasse Brown Swiss, eines war ein Holstein-Friesian-Rind. Die Tiere zeigten typischerweise eine Hyperextension im Fessel- und eine Hyperflexion im Krongelenk bei Belastung der Gliedmasse. Bei sieben Tieren war jeweils nur ein Fesselträger der Hintergliedmassen betroffen, drei Tiere zeigten eine bilaterale Ruptur an den Vordergliedmassen und ein Tier eine bilaterale Ruptur an den Hintergliedmassen.

Aufgrund der Tatsache, dass diese Verletzung fast nur Jungtiere betrifft, wird davon ausgegangen, dass der M. interosseus medius in einem Gebiet rupturiert, welches noch Muskulatur enthält (NUSS, 2017). Ultrasonographisch konnte dies bestätigt werden. Veränderungen liessen sich im Bereich des Ursprungs und des Körpers des M. interosseus medius nachweisen, die Seitenschenkel und Seitenstränge waren aber ebenfalls betroffen (NUSS et al., 2017). Von einem dieser Tiere wurden in der hier vorgelegten Untersuchung histologische Schnitte des betroffenen Fesselträgerkörpers, 6-8cm distal des Tarsus, hergestellt und im Ergebnissteil beschrieben. Auf Höhe der Rupturstelle kann, wie vermutet, Muskulatur nachgewiesen werden. Allgemein passen die histologischen Veränderungen sehr gut zu den typischen Ultraschallbefunden. So ist der makroskopisch auffälligste Befund die massive Schwellung des M. interosseus medius; bei mikroskopischer Betrachtung sticht vor allem das aufgelockerte und unstrukturierte Sehngewebe ins Auge. Zwischen einzelnen verquirlten Sehnenfasern können zudem grössere Leerräume erkannt werden. Diese Befunde erklären das im Ultraschall wellige und hypoechogene Erscheinungsbild der Sehnenfasern. Ins Sehngewebe eingebettet findet man auch kleinere Inseln aus Muskulatur, welche im Ultraschall vermutlich auch als hypoechogene Bereiche angesprochen werden.

Bisherige Fallberichte der Literatur handeln alle von gravierenden Niederbrüchen. Dezentere Verletzungen des Fesselträgers, wie sie beim Pferd sehr häufig sind, werden in der Literatur nicht beschrieben. Es stellt sich die Frage, ob diese einfach nicht diagnostiziert werden, oder ob sie aufgrund der unterschiedlichen Nutzung der Tiere gar nicht erst entstehen. Solche massiven Verletzungen, wie sie beim Rind beschrieben sind, würde wohl für die meisten Pferde, im Hinblick auf ihre Nutzung, das Todesurteil bedeuten. Betroffene Rinder haben aber mit konservativer Therapie ziemlich gute Chancen auf eine Heilung, dauert diese auch sehr lange. Folgeerscheinungen wie eine Ankylosierung der Gelenke oder degenerative Gelenkserkrankungen sind bisher nicht dokumentiert; sie werden von den betroffenen Rindern möglicherweise gut toleriert und ihre Nutzung wird dadurch nicht eingeschränkt. Somit kann von einer guten Prognose bei unilateraler, oder nur leichtgradig bilateraler Ruptur, gesprochen werden (NUSS, 2017). Leider konnte in der Studie von Nuss et al. (2017) der Heilungsverlauf nicht mittels Ultraschall kontrolliert werden. Diese Nachuntersuchungen hätten wichtige Informationen zum Reparaturvermögen des Fesselträgers beim Rind liefern können.

Ob das vermehrte Auftreten von Fesselträgerupturen bei Jungtieren wirklich im Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Muskulatur im M. interosseus medius steht, bleibt offen. Eine andere Erklärung liefert das Naturell von Jungtieren, welche im Vergleich zu Adulten viel mehr rennen und springen (NUSS et al., 2017). Um dieser Fragestellung auf den Grund zu gehen, sind weitere Untersuchungen an adulten Tieren nötig.

## **7.4 Ausblick**

Anhand dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass der M. interosseus medius beim einjährigen Rind noch beträchtliche Mengen an Muskelgewebe enthält. Diverse Studien beim Pferd konnten zeigen, dass auch der Fesselträger adulter Pferde noch immer muskulös durchsetzt ist (BISCHOFBERGER et al., 2006; KAMINSKI, 2006; WEINGART, 2006; SCHULZE UND BUDRAS, 2008; NAGY und DYSON, 2012; SCHRAMME et al., 2012; SHIKH ALSOOK et al., 2013). Im englischen Sprachgebrauch ist aber stets vom „suspensory ligament“ die Rede, was im Hinblick auf die Gewebezusammensetzung irreführend ist. Korrekterweise müsste man somit vom „suspensory muscle“ sprechen (SCHULZE und BUDRAS, 2008).

Bei der dreieinhalb Jahre alten Kuh, welche im Rahmen der Masterarbeit untersucht wurde, konnte gar keine Muskulatur dargestellt werden. Diese Untersuchung eines einzelnen Tieres ist jedoch nicht repräsentativ. Hierzu müssten die Fesselträger weiterer Tiere verschiedener Altersgruppen analysiert werden. Schlücker (2012) führte Untersuchungen an Beinen von deutlich älteren Rindern durch und beschrieb die Mittelplatte des M. interosseus medius als häufig muskulös durchsetzt wirkend. Dies sind jedoch ausschliesslich makroskopische Befunde, histologische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt. Weingart (2006) stellte zudem fest, dass die Menge an Muskulatur im Bereich des M. interosseus medius weniger vom Alter als viel mehr von der Rasse und der Nutzung der Pferde abhängt. So fand sie beispielsweise bei Vollblütern weniger Muskulatur als bei Kaltblütern. Solche Rassenunterschiede wären beim Rind sicher auch denkbar. Für die vorliegende Arbeit wurden zwei Braunviehrinder, sowie vier Kreuzungen aus Holstein-Friesian und Mastrassen verwendet. Ein Rassenunterschied in Bezug auf den Gehalt an Muskulatur konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Die für diese Arbeit verwendeten Rinder waren ausschliesslich weiblich. Da jedoch die anatomischen Verhältnisse an den Gliedmassen geschlechtsunabhängig sind, sollten diese auch für männliche Tiere geltend gemacht werden können (SCHLÜCKER, 2012). Eine Studie beim Pferd besagt jedoch, dass der Fesselträger von weiblichen Tieren signifikant mehr Muskelgewebe enthalte als von männlichen Tieren. Diese Studie bezog sich jedoch nur auf elf Pferde (SHIKH ALSOOK et al., 2013). Ob beim Rind ebenfalls ein Geschlechtsunterschied bestehen könnte, ist fraglich.

Die Resultate dieser Arbeit sollen eine Hilfe sein, bei der Erkennung und Beurteilung von ultrasonographischen Veränderungen im Bereich des Fesselträgers und seinen umgebenden Strukturen. Es konnte gezeigt werden, dass mit Ultraschall die meisten relevanten Strukturen gut darstellbar sind. Im Bereich des Fesselträgerkörpers erweist es sich aber als schwierig, die hypoechogenen Areale sicher als muskuläre oder fetthaltige Bezirke anzusprechen. Da die Verteilung der Muskulatur auch geringgradige individuelle Unterschiede aufweist, hilft im Zweifelsfall nur der Seitenvergleich mit der kontralateralen Gliedmasse. Schwerwiegende Veränderungen des Fesselträgers, wie sie beim Rind meist auftreten, sollten somit jedoch sicher erkannt werden. Bei Unklarheiten oder in speziellen Fällen kann auch eine MRI-Untersuchung zusätzliche wichtige Informationen liefern. Da in dieser Arbeit ausschliesslich Tiere im Alter von zwölf bis vierzehn Monaten untersucht wurden, lassen sich die Befunde nicht ohne weiteres auf adulte Tiere übertragen.

Weitere Studien über mehr als ein Jahr alte und adulte Rinder sollten klären, ob nicht auch bei dieser Tierart, ähnlich wie beim Pferd, über lange Zeit Muskulatur im Fesselträger vorhanden ist. Denn in allen gängigen Lehrbüchern, z.B. Seiferle und Frewein (2004), Liebich et al. (2015), Salomon (2015), wird für Pferd und Rind beschrieben, dass der Fesselträger beim adulten Tier eine rein sehnige Struktur ist. Dabei ist zu beachten, dass die Zugfestigkeit von Sehnen- und Muskelgewebe sehr verschieden ist.

## 8 Literaturverzeichnis

**Anderson, D.E., Desrochers, A., St. Jean, G., 2008:** Management of Tendon Disorders in Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 24, 551-566.

**Bischofberger A.S., Konar, M., Ohlerth, S., Geyer, H., Lang, J., Ueltschi, G., Lischer, C.J., 2006:** Magnetic resonance imaging, ultrasonography and histology of the suspensory ligament origin: a comparative study of normal anatomy of Warmblood horses. *Equine Veterinary Journal* 38, 508-516.

**Boppart, J., 2013:** Ultrasonographische Darstellung des M. interosseus medius beim Rind. Masterarbeit, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.

**Dyson, S.J., 1991:** Proximal suspensory desmitis: clinical, ultrasonographic and radiographic features. *Equine Veterinary Journal* 23, 25-31.

**Dyson, S.J. und Genovese, R.L., 2003:** The Suspensory Apparatus.

In: Ross, M., Dyson, S.J.: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. 1. Auflage, Verlag Elsevier, St. Louis, Missouri. S.654-666.

**Ehlert, A., 2006:** Röntgenanatomische und querschnittsanatomische Untersuchungen unter Berücksichtigung magnetresonanztomographischer Befunde an der Hintergliedmasse des Rindes. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig.

**Ehlert, A., Ferguson, J., Gerlach, K., 2011:** Magnetic Resonance Imaging and Cross-Sectional Anatomy of the Normal Bovine Tarsus. *Anatomia Histologia Embryologia* 40, 234-240.

**Geyer, H., 2015:** Klaue, *Ungula*, der Wiederkäuer. *Anatomie für die Tiermedizin*. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Verlag Enke, Stuttgart. S.670-675.

**Gille, U. und Salomon, F.V., 2015:** Herz-, Kreislauf- und Abwehrsystem, Angiologia.

In: Salomon, F.V., Geyer, H., Gille U.: *Anatomie für die Tiermedizin*. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Verlag Enke, Stuttgart. S.441-455.

**Gonçalves, P.V.R., Silva, L.A.F., Silva, L.H., Costa, A.P.A., Bragato, N., Cardoso, J.R., Kofler, J., Borges, N.C., 2014:** Ultrasonography of the distal limbs in Nellore and Girolando calves 8 to 12 months of age. BMC Veterinary Research 10:102.

**Huskamp, B. und Nowak, M., 1988:** Insertionsdesmopathien beim Pferd und einige ihrer Lokalisationen. Pferdeheilkunde 4, 3-12.

**Kaminski, M., 2006:** Histologische Untersuchung der Normalstruktur der Beugesehnen und des Fesselträgers beim Pferd. Dissertation, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.

**König, H.E., Mülling, C., Hagen, J., Macher, R., Donoso, S., Probst, A., 2013:** Sehnen und Bänder an der Rinderzehe. Wiener Tierärztliche Monatszeitschrift 100, 55-60.

**Kofler, J., 2011:** Sonographische Untersuchung des Bewegungsapparats beim Rind. Tierärztliche Praxis Grosstiere 5, 299-313.

**Kofler, J., Geissbühler, U., Steiner, A., 2014:** Diagnostic Imaging in Bovine Orthopedics. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice 30, 11-53.

**Liebich, H.-G., Maierl, J., König, H.E., 2015:** Vorder- oder Schultergliedmassen (Membra thoracica); Hinter- oder Beckengliedmassen (Membra Pelvina).  
In: König, H.E., Liebich, H.-G.: Anatomie der Haussäugetiere. 6., überarbeitete Auflage, Verlag Schattauer, Stuttgart. S.178-220, S.244-286

**Lischer, Ch.J., Bischofberger, A.S., Fürst, A., Lang, J., Ueltschi, G., 2006a:** Erkrankungen im Bereich des Fesselträgerursprungs beim Pferd: Eine diagnostische Herausforderung. Schweizer Archiv für Tierheilkunde Band 148, Heft 2, 86-97.

**Lischer, C.J., Ringer, S.K., Schnewlin, M., Imboden, I., Fürst, A., Stöckli, M., Auer, J., 2006b:** Treatment of chronic proximal suspensory desmitis in horses using focused electrohydraulic shockwave therapy. Schweizer Archiv für Tierheilkunde Band 148, Heft 10, 561-568.



**Löffeld, S., Boening, K.-J., Weitkamp, K., Stadler, P., 2002:** Radiale extrakorporale Stoßwellentherapie® bei Pferden mit chronischer Insertionsdesmopathie am Fesselträgerursprung – eine kontrollierte Studie. *Pferdeheilkunde* 18, 147-154.

**Maierl, J., 2004:** Muskulatur des Fusses, Skelett und Gelenke des Fusses, Funktionelle Aspekte.

In: Fiedler, R., Maierl, J., Nuss, K.: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. Verlag Schattauer, Stuttgart. S.15-27.

**McLellan, J. und Plevin, S., 2013:** Do radiographic signs of sesamoiditis in yearling Thoroughbreds predispose the development of suspensory ligament branch injury? *Equine Veterinary Journal* 46, 446-450.

**Nelson, D.R., Kneller, S.K., Martin, D.D., 1997:** Treatment of rupture of suspensory ligament and superficial flexor tendon in a bull. *Australian Veterinary Journal* 75, 244-246.

**Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E., 2004a:** Peripheres Nervensystem.

In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Band IV, 4. Auflage. Verlag Parey, Stuttgart. S.241-298.

**Nickel, R., Schummer, A., Wille, K.-H., Wilkens, H., 2004b:** Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem.

In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Band I, 8. Auflage. Verlag Parey, Stuttgart. S.86-123, S.234-272.

**Nuss, K., 2017:** Suspensory ligament (interosseus muscle) injury.

In: Fubini, S.L., Ducharme, N.G.: *Farm Animal Surgery*. 2. Auflage. Verlag Elsevier, St. Louis, Missouri. S.377-378.

**Nuss, K., Boppart, J., Geyer, H., 2017:** Clinical findings, treatment, and outcome in 11 dairy heifers with breakdown injury due to interosseus medius muscle rupture. *Veterinary Surgery* 46, 197-205.

**Nuss, K., Müller, J., Boppart, J., Devaux, D., Braun, U., Geyer, H., 2018:** Orthopaedic ultrasonography in cattle. 30<sup>th</sup> World Buiatrics Congress, Sapparo, Japan, August 28<sup>th</sup> – September 1<sup>st</sup>, 2018.

**Padaliya, N.R., Ranpariya, J.J., Kumar, D., Javia, C.B., Barvalia, D.R., 2015:** Ultrasonographic assessment of the equine palmar tendons. *Veterinary World* 8 (2), 208-212.

**Pfarrer, C. et al., 2017:** Schultergliedmasse; Beckengliedmasse.

In: Pfarrer, C., Mülling, C., Reese, S., Kölle, S., Budras, K.-D.: *Atlas der Anatomie des Rindes*. 2., ergänzte und aktualisierte Auflage. Verlag Schlütersche, Hannover. S.2-22

**Ramzan, P.H.L., Palmer, L., Dallas, R.S., Shepherd, M.C., 2013:** Subclinical ultrasonographic abnormalities of the suspensory ligament branch of the athletic horse: A survey of 60 Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal* 45, 159-163.

**Rickenbacher, L., 2013:** Histologische Untersuchung des M. interosseus medius beim einjährigen Rind. Masterarbeit, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.

**Salomon, F.V., 2015:** Bewegungsapparat.

In: Salomon, F.V., Geyer, H., Gille U.: *Anatomie für die Tiermedizin*. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Verlag Enke, Stuttgart. S.62-230.

**Schlücker, R., 2012:** Biomechanische Untersuchungen zum M. interosseus medius des Rindes. Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.

**Schramme, M., Josson, A., Linder, K., 2012:** Characterization of the origin and the body of the normal equine rear suspensory ligament using ultrasonography, magnetic resonance imaging, and histology. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, Vol. 53, No. 3, 318-328.

**Schulze, T. und Budras, K.-D., 2008:** Zur klinisch-funktionellen Anatomie des M. interosseus medius der Hintergliedmasse im Hinblick auf die Insertionsdesmopathie des Pferdes – Kernspin-, computertomographische- und morphologische Untersuchungen. *Pferdeheilkunde* 24, 343-350.

- Seiferle, E. und Frewein, J., 2004:** Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia.  
In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, 8., unveränderte Auflage. Verlag Parey, Stuttgart. S.470-544.
- Shikh Alsook, M.K., Antoine, N., Piret, J., Moula, N., Busoni, V., Denoix, J.-M., Gabriel, A., 2013:** Morphometric analyses of the body and the branches of the normal third interosseous muscle (suspensory ligament) in Standardbreds. *Anatomia Histologia Embryologia* 42, 461-470.
- Steiner, A., Anderson, D.E., Desrochers, A., 2014:** Diseases of the Tendons and Tendon Sheaths. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30, 157-175.
- Trump, M., 2014:** A retrospective Study of the prevalence of injuries to the suspensory ligament, digital flexor tendons and associated structures in a non-racehorse referral-hospital population. Dissertation, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.
- Vandenberghe, A., Broeckx, S.Y., Beerts, C., Seys, B., Zimmerman, M., Verweire, I., Suls, M., Spaas, J.H., 2015:** Tenogenically induced allogeneic mesenchymal stem cells for the treatment of proximal suspensory ligament desmitis in a horse. *Frontiers in Veterinary Science* 2:49.
- Weingart, I., 2006:** Untersuchungen zur Innervation und Vaskularisation des M. interosseus medius beim Pferd. Dissertation, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.
- Zauscher, J.M., Estrada, R., Edinger, J., Lischer, C.J., 2013:** The proximal aspect of the suspensory ligament in the horse: How precise are ultrasonographic measurements? *Equine Veterinary Journal* 45, 164-169.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen Personen bedanken, die mich beim Erstellen dieser Arbeit unterstützt haben:

- Prof. em. Dr. Hans Geyer für die stets tatkräftige und grosszügige Unterstützung, für die sehr gute fachliche Betreuung, die vielen motivierenden Worte und die angenehme Zusammenarbeit.
- Prof. Dr. Karl Nuss für die Übernahme des Korreferates.
- Pascal Glatzfelder für das Erstellen der detaillierten Grafiken und für das Fotografieren und Bearbeiten der MMA-Schnitte.
- Jasmin Boppart für das Überlassen der Ultraschallbilder, deren Anfertigung sehr viel Zeit und Übung in Anspruch nahm.
- Katrin Kämpf und Elisabeth Högger für die Mithilfe bei allen Laborarbeiten.
- Paul Müller für das Schlachten der Rinder und Absetzen der Rinderbeine.
- Meinen Eltern, die mir das Veterinärmedizinstudium ermöglicht haben und auf deren Unterstützung ich immer vertrauen kann.
- Meinem Freund Foued Ben Khalifa für seine Unterstützung, für das entgegengebrachte Verständnis und den Ansporn.

# Curriculum Vitae

Vorname Name: Leonie Rickenbacher

Geburtsdatum: 13.01.1990

Geburtsort: Liestal BL

Nationalität: Schweiz

Heimatort: Zeglingen BL

08/1996 – 07/1998: Primarschule Liestal BL

08/1998 – 07/2002: Primarschule Berg TG

08/2002 – 07/2004: Sekundarschule Berg TG

08/2004 – 07/2008: Kantonsschule Kreuzlingen TG

27.06.2008: Matura, Kantonsschule Kreuzlingen

09/2008 – 12/2013: Studium der Veterinärmedizin, Universität Zürich

30.12.2013: Abschlussprüfung med. vet., Universität Zürich

01/2014 – 09/2018: Anfertigung der Dissertation  
unter Leitung von Prof. em. Dr. med. vet. Hans Geyer  
am Veterinär-Anatomischen Institut  
der Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich  
Direktor: Prof. Dr. med. vet. Alois Boos

02/2014 – 05/2014: Praktikum, PraxisZentrum Turbenthal, VETTrust AG

06/2014 – 12/2016: Assistenztierärztin, Kleintierklinik am Damm, Gossau SG

01/2017 – 03/2018: Internship, Ennetseeklinik für Kleintiere AG, Hünenberg

06/2018 – heute: FVH-Assistenztierärztin, Tierklinik Aarau West AG, Oberentfelden